

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра техніки і електрофізики високих напруг**

«На правах рукопису»
УДК 621.313

«До захисту допущено»
В. о. завідувача кафедри
В. О.
Бржезицький
«22» травня 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
на тему: «Оптимізація розподілу електричного поля в високовольній
котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів»

Виконав:
студент VI курсу, групи ЕВ-61м
Холоєвський Нікіта Ігорович

Керівник:
к.т.н, доцент, Проценко О. Р.

Консультант:
Ст. викладач кафедри промислового маркетингу, к.е.н.
Царьова Т.О.

Рецензент:
Ст. викладач кафедри АЕ Хлистов В.М.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент _____

Київ – 2018 року

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: Оптимізація розподілу електричного поля в високовольтній котушці
високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(спеціалізація «Техніка та електрофізика високих напруг»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ В. О. Бржезицький

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Холоєвському Нікіті Ігоровичу

1. Тема дисертації «Оптимізація розподілу електричного поля в високовольтній котушці височастотного фільтра установки випробування ізоляторів», науковий керівник дисертації Проценко Олександр Ростиславович, к.т.н, доцент, затверджені наказом по університету від 21.03.2018 р. № 981-с

2. Строк подання студентом дисертації 23 травня 2018 року_____

3. Об'єкт дослідження Електромагнітне поле високовольтної височастотної котушки індуктивності_____

4. Предмет дослідження Узгодження розподілення електричного та індукованого поля_____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Вимірювання радіозавад на ізоляторах. 2. Розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці. 3. Розподіл напруги в шарі діелектрика ізоляційної конструкції. 4. Регулювання електричного поля високовольтної котушки за допомогою профілювання діелектрика. 5. Стартап._____

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схеми випробувань, схеми заміщення, графіки залежності розподілу полів та потенціалів.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Маркетинг високовольтного обладнання	Царьова Т. О., ст. викладач кафедри промислового маркетингу		

9. Дата видачі завдання 06.02.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вимірювання радіозавод на ізоляторах	Січень 2018	
2	Розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці	Лютий 2018	
3	Розподіл напруги в шарі діелектрика ізоляційної конструкції	Березень 2018	
4	Регулювання електричного поля високовольтної котушки за допомогою профілювання діелектрика	Квітень 2018	
5	Стартап	Травень 2018	

Студент

(підпис)

Холоєвський Н. І.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Проценко О. Р.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 73 сторінках формату А4, яка включає в себе 24 рисунків, 18 таблиць, 38 джерел використаної літератури.

В дипломному проекті виконано: аналітичний огляд схем вимірювання радіозавад на ізоляторах, методику випробування ізоляторів на рівень радіозавад, розглянуто державний стандарт з вимогами до випробувань електрообладнання змінною напругою з виміром радіозавад, проведено оптимізацію форми поверхні котушки фільтра з метою узгодження електричного та індукованого потенціалів поля.

Розрахунок і виконання даної магістерської дисертації забезпечувалися за допомогою використання наступних програм: Microsoft Office Word 2007, Microsoft Office Excel, Mathcad 15.0, COMSOL Multiphysics.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is made on 73 pages of A4 format, which includes 24 figures, 18 tables, 38 sources of used literature.

In the diploma project were made the analytical review of the measurements of radio interruptions at the insulators, the method of testing the insulators at the level of interruptions, the state standard with requirements for the testing of electrical equipment with alternating voltage with the measurement of radio interruptions is considered, an optimization of the shape of the surface of the coil of the filter was made in order to reconcile the electric and induced field potentials.

Calculation and implementation of this degree project were provided by means of use of the following programs: Microsoft Office Word 2007, Microsoft Office Excel, Mathcad 15.0, COMSOL Multiphysics.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ТЗ – технічний засіб

ПЛ – повітряна лінія електропередачі

ПС – підстанція

ВРУ – відкрита розподільча установка

УВЧ – ультрависокі частоти

НВЧ – надвисокі частоти

ФНЧ – фільтр низької частоти

ФВЧ – фільтр високої частоти

ЕМС – електромагнітна сумісність

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Вимірювання радіозавад на ізоляторах.....	10
1.1. Норми, особливості конструкцій, порівняння ізоляторів.....	10
1.2. Випробування ізоляторів на рівень випромінювання.....	18
1.3. Державні стандарти по вимірюванню радіозавад.....	23
2. Розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці.....	27
2.1. Метод дослідження розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці.....	28
3. Розподіл напруги в шарі діелектрика ізоляційної конструкції.....	34
4. Регулювання електричного поля високовольтної котушки за допомогою профілювання діелектрика.....	40
4.1. Оптимізація внутрішньої поверхні котушки фільтра.....	40
4.2. Розрахунок електричних полів.....	42
4.3. Розробка котушки з оптимізацією поверхні за допомогою послідовного симплекс-планування.....	45
4.4. Проведення оптимізації форми ізоляційного каркасу катушки.....	48
5. Стартап.....	61
5.1. Опис ідеї проекту.....	61
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	63
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	64
Висновки.....	68
Список використаних джерел.....	69
Додаток 1.....	73

ВСТУП

З часом вимоги до високовольного електрообладнання тільки зростають, і тому деякі прилади вже недостатньо задовольняють сучасним вимогам.

Зокрема постає питання недостатньої чутливості високовольного обладнання, у яких одними з основних елементів є котушки індуктивності. Таким обладнанням являються, насамперед, схеми випробування ізоляторів на радіозавади, та високочастотні загороджувачі, які призначені для обмеження проходження певних частот. При дуже високих, або навпаки, дуже низьких частотах виникає нестабільність параметрів.

Отже ідея підвищення чутливості високовольного високочастотного обладнання є сьогодні актуальною.

1. Вимірювання радіозавад на ізоляторах.

1.1. Норми, особливості конструкцій, порівняння ізоляторів

Вимірювання емісії радіозавад, що генеруються радіоелектронними пристроями та електроустановками низької і високої напруги, мають на меті встановити, якою мірою вони є небезпечними для оточуючих технічних об'єктів і людини. Для гарантованого радіоприйому в відповідних нормативних документах встановлено граничні рівні радіозавад. Вони базуються на нормах МЕК і міжнародного спеціального комітету щодо радіозавад (SISPR). Для забезпечення відтворюваності результатів методи вимірювань емісії радіозавад, а також вимоги до випробувальних установок і реєструючій апаратурі строго регламентовані. При цьому розрізняють групи стандартів, що нормують емісію радіозавад. В одну групу можна віднести стандарти, що нормують рівні емісії радіозавад від функціональних джерел та інших ТЗ низької напруги. В іншу групу входять стандарти, які стосуються випробувань обладнання первинних кл з напругою вище 1000 В [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Загальний принцип реєстрації радіозавад, які генерує ТЗ, ілюструється рис. 1.1.

Кондуктивні радіозавади поширюються уздовж ліній управління і передачі даних, а також з мережних проводам, які приєднані до обладнання. Відповідно вимірювання цих радіозавад виконуються датчиками, приєднаними до проводів (ліва частина блок-схеми на рис. 1.1). Внаслідок значного загасання при поширенні по проводах і в землі ці радіозавади мають діапазон частот, який зазвичай не перевищує 30 МГц, і являє собою напруги або струми, які можна виміряти. Для вимірювання струму радіозавад застосовують вимірювальний трансформатор струму (ІТТ) у вигляді

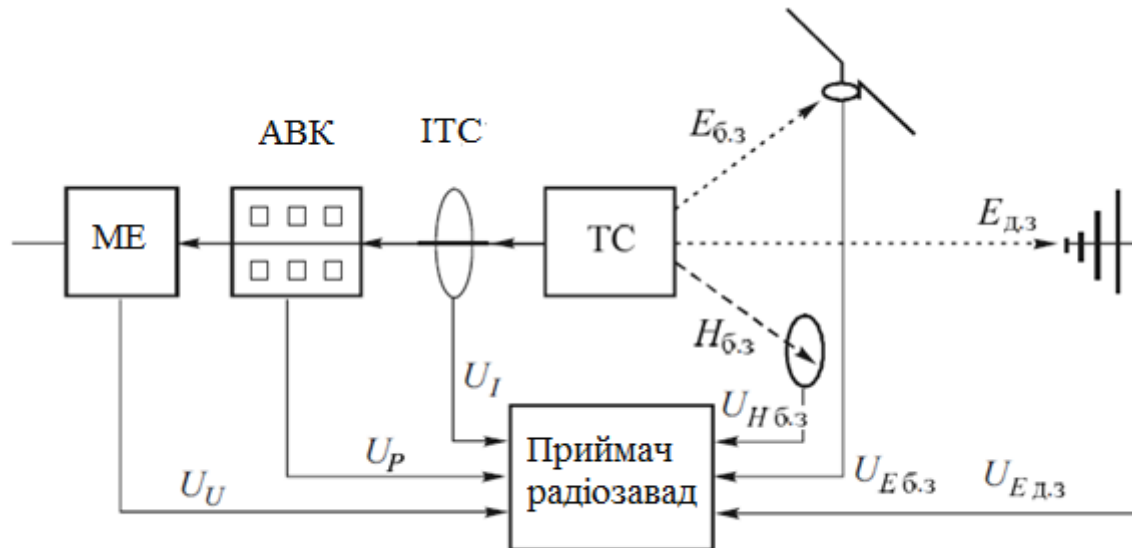


Рис. 1.1 – Засоби вимірювання емісії радіозавад:

ДО - досліджуваний об'єкт; ИТС - імпульсний трансформатор струму;
 АВК - абсорбційні вимірювальні кліщі; МЕ - мережевий еквівалент [1]

струмових кліщів. Потужність радіозавад реєструється абсорбційними вимірювальними кліщами (АВК). Напругу радіозавад у вигляді складових загального і диференціального типів вимірюють імпульсними вольтметрами, осцилографами або аналізаторами спектра, які підключаються до клем еквівалента мережі.

У частотному діапазоні понад 30 МГц переважає польовий механізм поширення радіозавад. У ближній зоні радіозавад (права частина рис. 1.1) вимірюються в вигляді електричної $E_{6.3}$ і магнітної $H_{6.3}$ складових поля. У дальній зоні вимірюється напруженість електромагнітного поля $E_{д.з.}$ і потужність. В якості вимірювальних датчиків використовуються рознесені антени різного виду виконання (рамкові для магнітної складової; стрижневі, логарифмічні та інші для електричної складової) і амплітудно-частотних характеристик.

Від всіх датчиків сигнали, які пропорційні вимірюваним параметрам радіозавад, передаються на входи приймача радіозавад у вигляді напруг U_U , U_P , U_H , U_E та $U_{E_{д.з.}}$. Обов'язковим елементом приймача є селективний

мікровольтметр або сканер. Для реєстрації форми сигналів імпульсних і рідко повторюваних періодичних завад використовуються широкосмугові осцилографи.

Щоб можна було краще оцінити вплив вимірної радіозавади на той чи інший чутливий елемент ТЗ, в спеціальних приймачах передбачені режими виміру середніх, максимальних, квазімаксимальних і ефективних значень вхідних сигналів. Сучасні вимірювальні приймачі можуть автоматично виконувати складні вимірювання, обробляти і документувати результати вимірювань.

Вимірювання кондуктивних радіозавад. Струми радіозавад створюють на внутрішньому опорі мережі живлення падіння напруги, які є напруженнями кондуктивних радіозавад. Для об'єктивності і відтворюваності вимірювань радіозавад в різних лабораторіях застосовують мережевий еквівалент, схема якого для однофазної мережі живлення наведена на рис. 1.2.

Еквіваленти мережі виконують три функції:

- створення нормованого опору для струмів радіозавад;
- фільтрація зовнішніх мережевих радіозавад з метою обмеження їх впливу на результати вимірювань радіозавад, що генеруються досліджуваним об'єктом;
- виділення сигналів радіозавад за допомогою блокуючих котушок індуктивності $L_{\text{бл}}$, розділових конденсаторів C_p і нормованих опорів R .

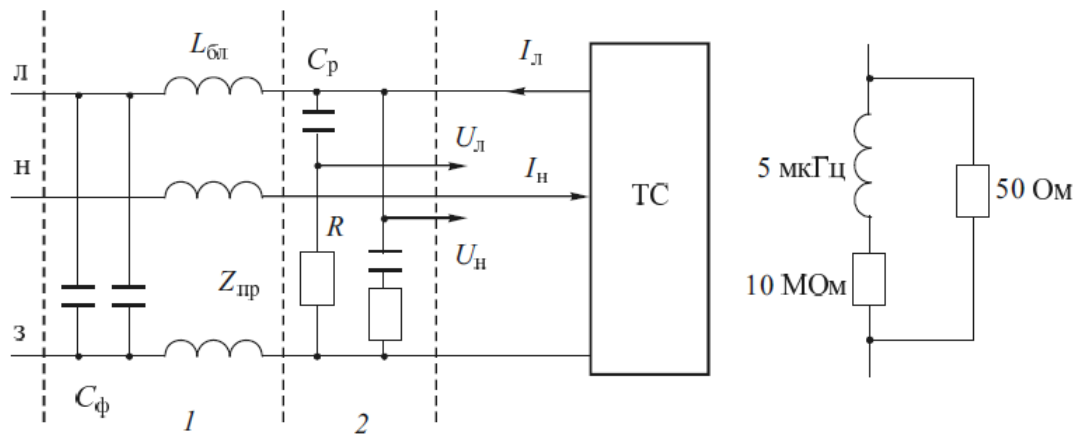


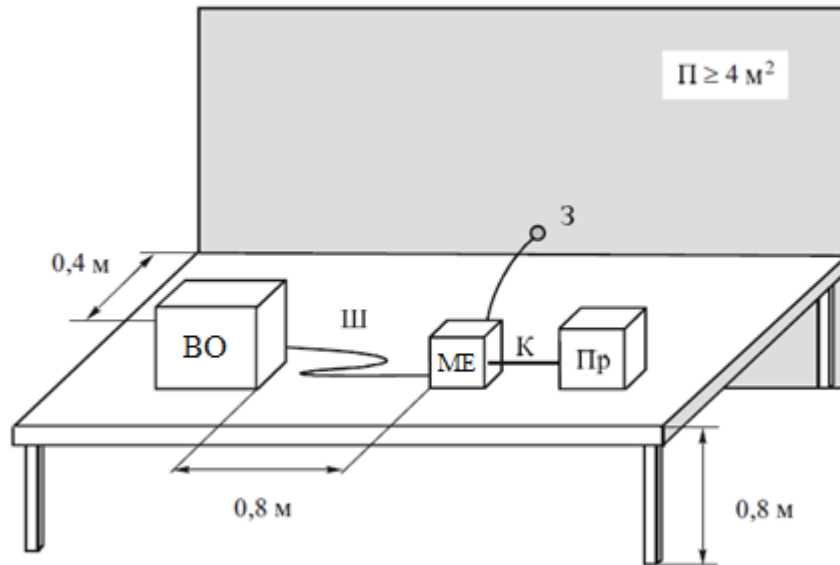
Рис. 1.2 – Схема вимірювання радіозавад загального типу і схема заміщення еквівалента мережі:

1 - фільтр нижніх частот; 2 - область виділення сигналів радіозавад; л, н, з - лінійний, нульовий і заземлюючий проводи [1]

Вимірювані напруги на лінійному U_L і нульовому проводі U_N відносяться до радіозавад загального типу, а різниця між ними - диференціального типу. Є також еквіваленти мереж управління і зв'язку з об'єктами, інші модифікації, що забезпечують виділення додатково асиметричних завад і т. д.

Безпосереднє вимірювання струмів радіозавад I_L та I_N , що генеруються джерелом радіозавад, можна виконати за допомогою високочастотного трансформатора струму. При цьому між лінійним і нульовим проводом встановлюється малоіндуктивний конденсатор, який шунтує струми зовнішніх радіозавад.

При вимірах інтенсивності радіозавад потрібно дотримуватися вимог до геометричних розмірів і взаємного розташування елементів схеми випробувань, з'єднувальних кабелів і заземлюючих провідників. Як приклад на рис. 1.3 приведена компоновка стенду для вимірювань кондуктивних радіозавад.



Мал. 1.3. Типовий стенд для випробувань і вимірювань кондуктивних радіозавад:

П - пластина опорного потенціалу (землі); 3 - клемма для приєднання проводу опорного потенціалу (заземлюючого проводу); К - екранований кабель; Ш - шнур живлення мережі випробуваного об'єкта; МЕ - мережевий еквівалент; Пр - приймач; ВО - випробуваний об'єкт [1]

Вимірювання емісії завад. Електричні і магнітні поля завад вимірюються за допомогою антен, напруга на виводах яких пропорційна напруженості вимірюваного поля. Зв'язок між напруженістю впливає на антену поля і напругою на вході підключеного до неї вимірювального приймача характеризується коефіцієнтами перетворення або антенними коефіцієнтами A_E і A_H . Вони враховують загасання в кабелі зв'язку і навантаження антени (вхідний опір приймача). Зазвичай вхідний опір приймача вибирають рівним хвильовому опору кабелю, наприклад, 50 Ом.

Антенні коефіцієнти залежать від частоти, їх амплітудно-частотні характеристики вимірюються виробником і вказуються в паспорті. Залежно від виду поля, інтенсивності завад, частотного діапазону вимірювань і геометричних розмірів випромінюючого об'єкта застосовують різні види антен. Вимірювання радіозавад проводять на відкритих майданчиках (рис.

1.4, а) або в екранованих приміщеннях, стіни яких практично повністю поглинають випромінювання, що не відбиваючи його (рис. 1.4, б). Такі приміщення отримали назву безлунних камер (рис. 1.5).

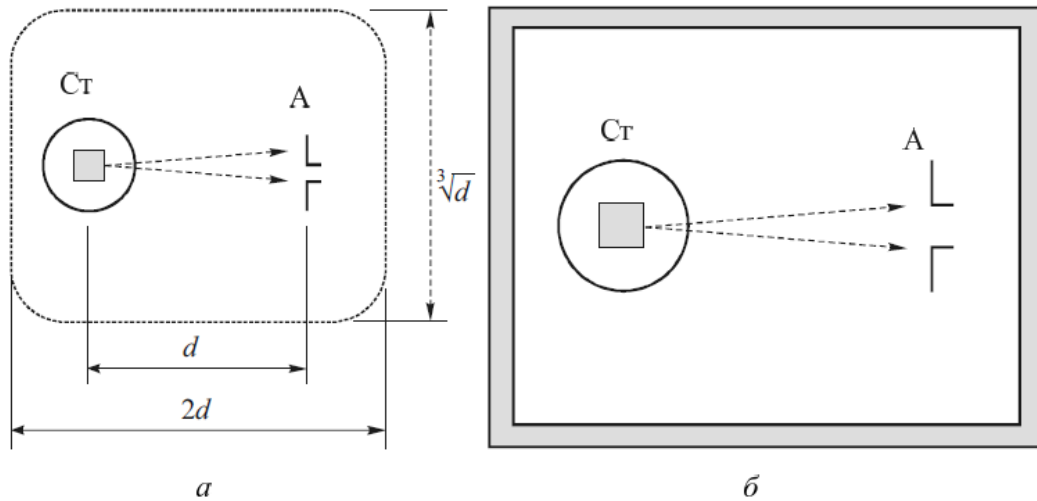


Рис. 1.4 - Відкритий (а) і закритий (б) майданчики для вимірювання випромінювання завад:

Ст - обертовий стіл з випробуваним об'єктом; d - нормована відстань
(d = 3; 10; 30 м) [1]

На відкритому майданчику в зоні, обмеженій еліпсом з нормованими розмірами, не повинно бути ніяких відображаючих предметів. Відбиття від об'єктів, що знаходяться за межами майданчика, не повинні створювати завад, порівнянних за рівнем з вимірюваними.

У процесі вимірювань об'єкт повертається на обертовому столі і для кожної частоти вимірюється максимальне значення напруженості поля. Якщо довжина хвилі випромінюваних радіозавад більше розмірів випробуваного об'єкта, то випромінювання обумовлено в основному приєднаними до нього проводами і лініями. В цьому випадку вимірюють потужність випромінювання, для чого використовують спеціальні вимірювальні датчики, так як наведено на рис. 1.4.

Норми індустриальних радіозавад, від функціональних джерел (побутові прилади, медичне обладнання, промислове високочастотні електротехнологічні установки) поділені на групи однорідної продукції і тут не наводяться.

Норми індустриальних радіозавад від ТЗ, що застосовуються в житлових зонах і промислових зонах з малим енергоспоживання наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Норми емісії індустриальних радіозавад від ТТ

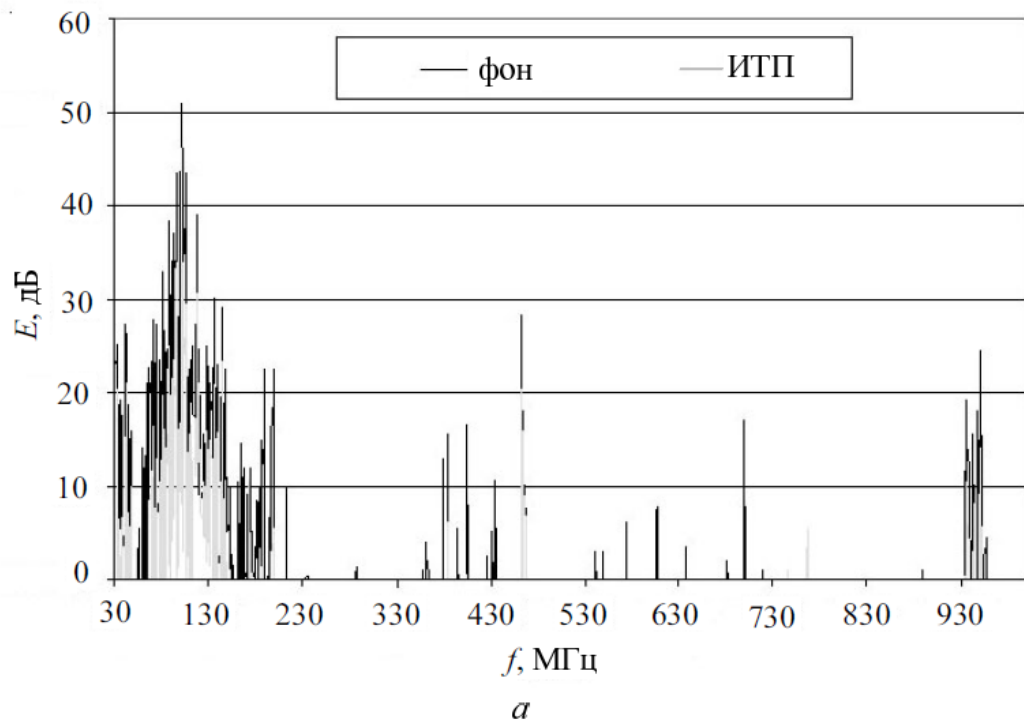
Полоса частот	Норма (відносно 1 мкВ/м)
30...230 МГц	40 дБ на відстані 10 м від межі об'єкту
230...1000 МГц	47 дБ на відстані 10 м від границі об'єкту
Примітка. Випробування проводять за наявності скарг на завади в теле- та радіо- прийманні	

Норми на емісію радіозавад від устаткування інформаційних технологій даються, по-перше, для двох зон використання цієї техніки: побутовій та виробничій з малим енергоспоживанням (зона Б) та інших (зона А). По-друге, норми наводяться окремо для мережевих затискачів і на портах зв'язку. У двох частотних діапазонах (0,15 – 0,5 і 0,5 – 30 МГц) вимірюються струми і напруги завад, а в діапазонах 30 – 230 і 230 – 1000 МГц вимірюється напруженість поля випромінюваних завад.

Варто зазначити, що знайти відкриті майданчики з низьким рівнем завад буває практично неможливо. У цьому випадку допомагає методичний прийом подвійного вимірювання. При першому вимірюванні в повністю підготовленому майданчику з випробуванням ТЗ, але з вимкненим його електричним живленням вимірюють інтенсивність фону. У другому вимірі проводять вимірювання сумарного сигналу, тобто того ж фоновому сигналу і сигналів емісії завад включеного в роботу ТЗ. Потім вираховують із

сумарного сигналу фон і отримують шукану величину емісії радіозавад. Як приклад на рис. 1.6 наведені результати вимірювання завадоемісії при випробуванні приладу ВТВ (вимірювач тангенса кута діелектричних втрат).

З наведених даних можна зробити парадоксальний, на перший погляд, висновок: випробуваний ТЗ практично не випромінює, а поглинає електромагнітні випромінювання в досить широкому діапазоні частот. Насправді це дійсно так, і пояснюється тим, що напівпровідникові прилади (діоди, транзистори, мікросхеми), на яких зібрана схема випробуваного ТЗ, будучи в активному стані, дійсно здатні поглинати енергію зовнішнього електромагнітного поля.



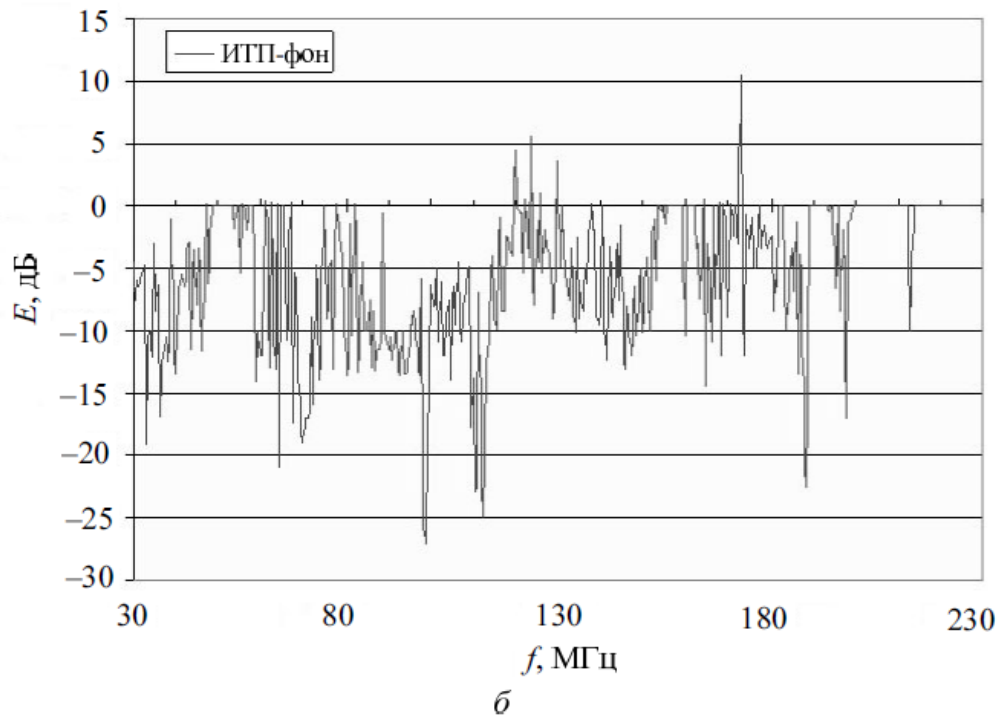


Рис. 1.6. Результати сумарного сигналу (а) і емісії завад (б) в діапазоні частот від 30 до 230 МГц [1]

1.2. Вимірювання радіозавад, що випромінюються компонентами електрообладнання

Загальні вимоги до випробувань електрообладнання змінною напругою з виміром радіозавад викладені в ГОСТ 1516.2-97. Випробування проводять при відносній вологості повітря не більше 80%, з ізоляцією в сухому і чистому стані. Корпуси та інші заземлювані частини випробуваного об'єкта повинні бути заземлені. При випробуваннях комутаційних апаратів напруга повинна бути прикладена як у включеному, так і в відключеному стані. При несиметричній конструкції ізоляції апарату випробування у вимкненому стані проводять двічі при прикладенні напруги до одного з контактів і заземлення іншого контакту.

Випробування окремих ізоляторів на рівень радіозавад проводять за схемою з включенням вимірювального опору і вимірювача радіозавад в колі заземлення конденсатора зв'язку (рис. 1.7).

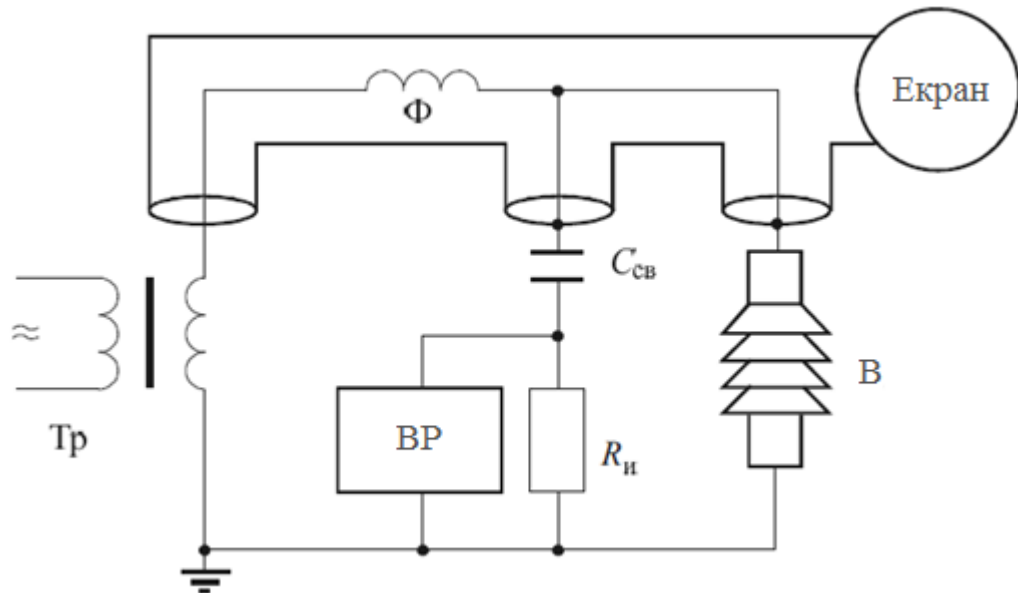


Рис. 1.7. Основна схема вимірювання струму радіозавад в ізоляторах
 Тр – трансформатор; В – вимірювальний ізолятор; Ф – фільтр; Cсв – конденсатор зв'язку; Rи – вимірювальний опір; ВР – вимірювач радіозавад

[1]

Під час випробувань повинні бути вжиті заходи для зниження впливу на результати вимірювань сторонніх предметів і самої випробувальної установки. Зовнішній фон радіозавад повинен бути не менше ніж на 6 дБ (в 2 рази) нижче нормованого рівня радіозавад об'єкта випробувань. З цієї причини шини, а також з'єднувальна і екранна арматура випробувальної установки виконуються з гладких труб або проводів завищеного перерізу, щоб на них не з'являлася корона. Трансформатор використовується при рівнях напруги, які зазвичай не вище 70% від максимального, щоб в його ізоляції не виникали часткові розряди, які можуть сприйматися як завади від випробуваного елемента.

Рівень радіозавад вимірюється в мікровольтгах після п'яти хвилин витримки об'єкта під напругою $1,1U_{н.р}/\sqrt{3}$ ($U_{н.р}$ – найбільша робоча напруга). Вимірювання проводять на частоті 500 ± 50 кГц або на інших частотах в діапазоні 0,5 – 2 МГц, якщо це зазначено в технічних умовах. Об'єкт вважається таким, що витримав випробування за умови, якщо рівень радіозавад не перевищив нормованого значення, зазначеного на окремі види електрообладнання. Зазвичай ці значення становлять 60–70 дБ щодо рівня 1 мкВ. Рекомендується знати характеристику радіозавад, тобто залежність рівня завад, виміряну при зниженні напруги ступенями по 10% від випробувальної напруги.

Наприклад, при випробуванні тарілчатих лінійних ізоляторів цю залежність використовують для визначення напруги, при якій рівень радіозавад перевищує 70 дБ (рис. 1.8).

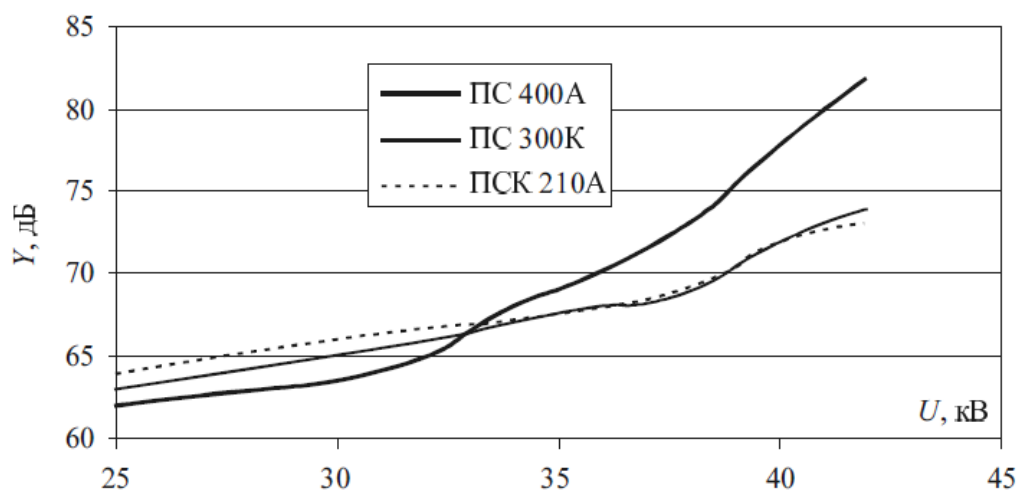


Рис. 1.8. Рівні завад лінійних ізоляторів [1]

Потім отримані величини гранично допустимих напруг використовуються при розрахунку і проектуванні ізолюючих підвісок проводів ПЛ, де враховується нерівномірність розподілу напруги уздовж гірлянд ізоляторів і можливості її регулювання (екрани, розщеплення дроти і ін.).

Методи вимірювань і норми на радіозавади від ПЛ і ПС регламентуються ГОСТ 22012-92 з урахуванням вимог ГОСТ 16842-92 на загальні методи випробувань джерел радіозавад. Квазіпікові значення напруженості поля радіозавад (в децибелах відносно 1 мкВ /м) в смузі частот 0,15 – 30 МГц не повинні перевищувати значень, зазначених на рис. 4.9.

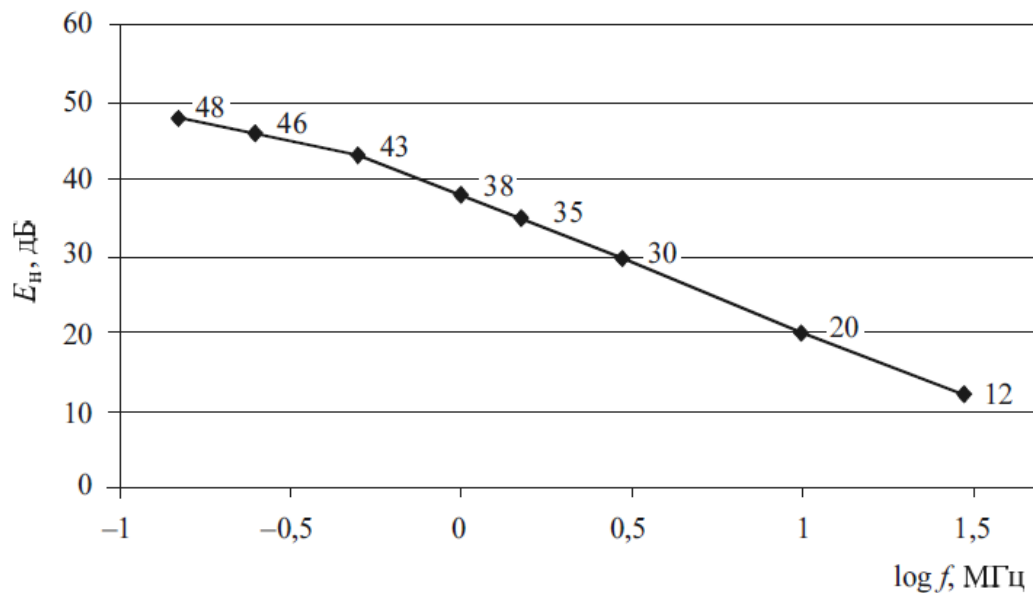


Рис. 1.9. Допустимі квазіпікові значення напруженості поля радіозавад [1]

В межі частот 30 – 1000 МГц рівень радіозавад не повинен перевищувати 30 дБ. Вимірювання радіозавад виконують за допомогою вимірювачів радіозавад і антен по ГОСТ 11001-80. Вимірювання завад на ПЛ виконують далеко від ПС та інших джерел електромагнітних полів, а саме інших ПЛ і доріг з рухомим автотранспортом. Вимірювання здійснюють в двох місцях. В середині прольоту завади вимірюють в смузі частот 0,15 – 30 МГц, яка є типовою для корони на проводах. Навпроти опор вимірювання вионують в смузі 30 – 1000 МГц, в якій значний внесок дають часткові розряди всередині і на поверхні ізоляторів. Вимірювання напруженості поля радіозавад проводять на різних ділянках ПЛ і на відстанях, зазначених в табл. 1.2.

Табл. 1.2 – Точки вимірювань на трасі ПЛ [1]

Клас напруги ПЛ, в смузі частот, МГц		Відстань від проекції крайнього провода на землю, м
0,15...30	30...1000	
≤ 35	≤ 220	10
110, 220	330, 500	50
≥ 330	≥ 750	100

На ПС вимірювання виконують в кількох точках, що знаходяться близько до ВРУ, і на указаних в табл. 1.3 відстанях.

Табл. 1.3 – Точки вимірювань радіозавад на підстанціях [1]

Клас вищої напруги ПС, кВ	Відстань, м	
	Від границі території ПС	Від проекції на землю провода ПЛ, що заходять, не менше
≤ 35	10	10
110, 220	50	50
≥ 330	100	100

Вимірювання проводять в різних погодних умовах (суха погода, дощ, снігопад). Відсоткове співвідношення числа вимірювань радіозавад має відповідати середньорічному відношенню цих категорій погоди в даному районі. Загальна кількість вимірювань на кожній частоті має бути не менше 15. Статистична обробка результатів при такому числі вимірювань проводиться за ГОСТ 16842-82. Для порівняння з нормою використовують значення рівня завад при ймовірності 0,8. ПЛ і ПС відповідають нормам, якщо $E_{0,8} \leq E_{норч}$. Це означає, що протягом року не менше 80% значень напруженості поля радіозавад з довірчою ймовірністю не менше 0,8 відповідають нормам.

У скороченому варіанті допускається проводити вимірювання радіозавад від ПЛ при одноразовим виїзді, і тільки в суху погоду. При цьому вважається, що ПЛ відповідає нормам, якщо на кожній частоті вимірювання: $E_i \leq (E_{\text{нор}} - 3 \text{ дБ})$ у смузі частот 0,15 – 30 МГц і $E_i \leq E_{\text{н}}$ частотою 30 – 1000 МГц.

1.3. Державні стандарти по вимірюванню радіозавад.

Метод вимірювання промислових радіозавад частотою 0,5 – 2 МГц в ізоляторах здійснюється відповідно до ГОСТ 26196-84, який діє з 1985 року. Цей стандарт стосується таких видів ізоляторів як підвісні, опорні, гірлянди ізоляторів, прохідні, лінійні, штирові, стрижневі ізолятори на номінальну напругу понад 1000 В. Розглянемо його основні положення [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

1. Метод відбору зразків

1.1. Ізолятори для випробування повинні бути чистими, сухими, кімнатної температури.

1.2. Випробування проводять на ізоляторах в кількості 6 штук.

2. Апаратура і підготовка до випробування

2.1. Схема випробувальної установки наведена на рис. 1.10.

2.2. Рівень радіозавад визначають вимірювачем радіозавад не нижче першого класу, який підключається радіочастотним кабелем до 20 м довжиною. Радіозавади вимірюють на частоті $(0,5 \pm 0,05)$ МГц.

2.3. Результати вимірювання рівня радіозавад повинні бути виражені в децибелах відносно 1 мкВ і приведені до опору R_L , рівному 300 Ом.

При пропорційній залежності вимірюваної напруги радіозавад від R_L допускається застосовувати R_L від 30 до 600 Ом.

Якщо випробуваний ізолятор має велику ємність, то порушується пропорційність між вимірюваною напругою радіозавад і опором R_L в 300 Ом.

2.4. Випробувальна напруга подається від джерела високої напруги через індуктивний фільтр F (рис. 1.10), який призначений для запобігання проходження високочастотних струмів завад, що генеруються у вимірювальну ланцюзі з боку джерела.

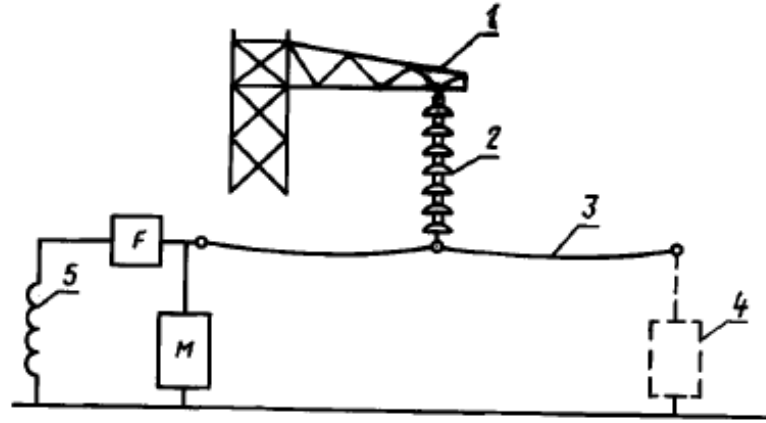


Рис. 1.10 – Схема випробувальної установки для визначення радіозавад
1 – заземлена опорна конструкція; 2 – випробувальний ізолятор; 3 – провід; 4 – можливе розміщення вимірювального пристрою; 5 – джерело напруги; М – вимірювальний пристрій; F – фільтр [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Для цього фільтр повинен мати опір до 10 кОм на вимірюваній частоті.

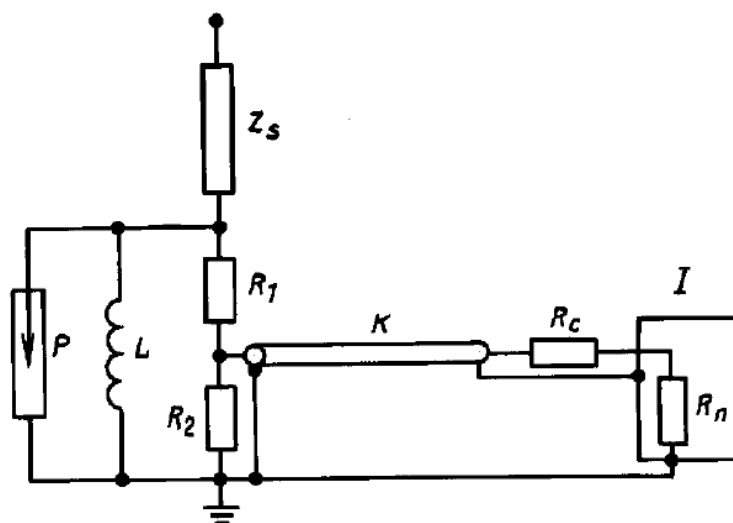


Рис. 1.11 – Схема вимірювального пристрою

1 — вимірювальний прилад з вхідним опором $R_{\text{в}}$; К — радіочастотний кабель; Р — розрядник; Z_s — елемент зв'язку; L — котушка індуктивності; R_c — резистор, що погоджує вхід вимірювального приладу з хвильовим опором кабелю; R_1 і R_2 — резистори [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Елемент зв'язку Z_s є конденсатором або послідовне з'єднання котушки індуктивності і конденсатора. При $R_L=300$ Ом відхилення результуючої величини опору послідовного з'єднання Z_s і R_L на вимірюваній частоті має дорівнювати (300 ± 40) Ом, при цьому фазний кут не повинен перевищувати 20° .

2.6. Вхідний опір вимірювача радіозавад має дорівнювати хвильовому опору кабелю Z_K або узгоджено з ним введенням опору R_c . Опори R_1 і R_2 вибираються з умови

$$R_L = R_1 + \frac{R_2(R_c + R_{\text{П}})}{R_2 + R_c + R_{\text{П}}}$$

2.7. Котушка L на частоті 50 Гц повинна мати невеликий опір для того, щоб шунтувати струми промислової частоти. На вимірюваній частоті її опір має бути від 3000 Ом і більше.

2.8. Випробування ізоляторів повинні проводитися при температурі навколишнього повітря 20 ± 5 °С, відносної вологості до 75 % і атмосферному тиску 101 ± 5 (760 ± 40) кПа (мм рт. ст.).

2.9. Випробування проводять на спеціальному вимірювальному майданчику, який ізолюваний від сторонніх об'єктів.

3. Проведення випробування

3.1. Під час випробування визначають кліматичні умови.

3.2. Перед проведенням випробування вимірюють рівень радіозавад від установки в залежності від напруги без випробуваного ізолятора або з елементом, що не створює завад.

Рівень фону повинен бути нижчим не менше ніж на 10 дБ від прийнятного рівня радіозавад ізолятора. При зборі показів виміряні

радіозавади реєструються як завади від ізолятора, якщо виміряний рівень вище не менше ніж на 6 дБ фонового рівню.

3.3. Вимірювання проводять у такому порядку: подають напругу на ізолятор не менше ніж на 5 хвилин, яка на 10% вище стандартизованої випробувальної напруги. Потім напругу зменшують до 30-50% від нормованої. Далі підвищують ступенями напругу на ізоляторі до такої, при якій рівень радіозавад буде перевищувати допустимий $Y_{\text{доп}}$ щодо 1 мкВ, і після цього знову ступенями понижають. Зниження або підвищення напруги повинно бути 10-15% від нормованого.

Напругу радіозавад реєструють на всіх щаблях випробувальної напруги.

3.4. Якщо значення випробувальної напруги не було вказано, вимірювання напруги радіозавад проводиться в межах 3- 30% сухорозрядної напруги випробуваного ізолятора.

4. Обробка результатів

Ізолятори вважають такими, що витримали випробування при виконанні умов:

а) рівень завад не перевищить при нормованій випробувальній напрузі допустимий рівень і відсутні стрибкоподібні підйоми рівня радіозавад при підвищенні напруги до 110% стандартизованої випробувальної напруги;

б) Якщо $Y_{\text{см}} \leq Y_{\text{доп}}$. $Y_{\text{см}} = \bar{Y} + K_{\sigma}$

де $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ - середнє значення результатів вимірювань, дБ;

n - кількість випробувальних ізоляторів;

K – коефіцієнт, що залежить від кількості випробуваних зразків і при n=6 дорівнює 1,42. При 6<n<6K цей коефіцієнт обирають відповідно до ГОСТ 16842 [Ошибка! Источник ссылки не найден.];

$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$ – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань, дБ.

2. Розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці

Одним із важливих елементів конструкції загороджувачів високої частоти є котушка індуктивності, які застосовуються з метою створення каналів зв'язку по високовольтних повітряних лініях при високій частоті і призначені, щоб передавати сигналів релейного захисту протиаварійної автоматики на високій частоті, що складає від 24 до 1000 кГц, по фазовому проводу або грозотросу [5].

Ще одним застосуванням таких котушок являється їх використання в схемах дослідження ізоляторів на можливі радіозавади [9]. Останніми роками такі випробування стають все більш важливими через підвищення вимог зменшенню негативного впливу на екологію.

Наявне сьогодні електрообладнання і стандарти по перевірці ізоляторів на можливі радіозавади мають незадовільну чутливість через те, що загороджувачі високої частоти, які застосовуються у випробувальному обладнанні, неідеальні [20].

З цієї причини, для виробництва високовольтних ізоляторів за сучасними стандартами [12] варто модернізувати високовольтну апаратуру для перевірки ізоляторів на можливі радіозавади і покращувати його чутливість.

Внаслідок цього постає питання дослідження котушок, базуючись на обчисленні впливу електричних і магнітних полів у їх складових.

Котушки індуктивності є важливою складовою загороджувачів високої частоти, котрі широко виробляються багатьма іноземними фірмами. Так, зокрема компанія Siemens [13] активно виготовляє високочастотні загороджувачі з щільно закритими або відкритими котушками, що використовуються в нормальних межах потужності. За індуктивності і

струмів великих значень рекомендуються до застосування герметичні котушки.

У науковій праці [14] описуються способи обчислення соленоїдальних і плоских малогабаритних котушок, що застосовують за частоти 300-600 Гц у зондах обладнання магнітного резонансу.

У роботах [15] описувався скін-ефект в багат шарових котушках. У [16] досліджується власна і взаємна індуктивність тороїдальної котушки, застосовуючи формули Біо-Савара і Неймана.

Проаналізувавши численні наукові праці, помітно, що в них акцентувалося незначною мірою на обчислення параметрів високочастотних котушок способом зменшення відхилення між електричними та індукованими потенціалами. З цієї причини слідує, що питання дослідження в котушці розподілу індукованого потенціалу все ще є важливим.

2.1. Метод дослідження розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці

Будемо досліджувати соленоїдальну котушку, у якій по обмотці проходить струм.

Визначимо індукований потенціал, користуючись виразом для знаходження взаємної індуктивності однакових контурів A і B , які розташовані таким чином, що їх центри містяться на спільній осі z [32]:

$$M = \mu_0 R f(k) \quad (2.1)$$

R — радіус даних контурів,

$f(k) = \left(\frac{2}{k} - k\right) K - \frac{2}{k} E$ E, K — повні еліптичні інтеграли першого та другого роду

$k = \sqrt{\frac{4R^2}{h^2 + 4R^2}}$, h – відстань від одного контуру до іншого. Формули для розрахунку E і K :

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta \quad (2.2)$$

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2} d\beta \quad (2.3)$$

2 2, h — відстань між контурами. Значення K та E можуть бути знайдені за формулами (2), (3) [15]:

Перетворивши вираз (2.1) у безрозмірний вид ($h = y$, $y = \alpha R$):

$$\frac{M}{R\mu_0} = F(\alpha) = \left(\frac{\alpha^2 + 2}{\sqrt{\alpha^2 + 4}} \right) \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta - \sqrt{\alpha^2 + 4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2} d\beta \quad (2.4)$$

.Для прикладу проаналізуємо соленоїд з однаковими сторонами, у якого висота рівна двом радіусам. У соленоїді проходить струм $i = I_m \cdot \sin \omega t$, а кількість витків котушки $N \gg 1$. Потрібно в котушці знайти залежність індукованого потенціалу від висоти y , $0 \leq y \leq 2R$.

Так як $y = \alpha R$, то знайдемо розподіл індукованого потенціалу $\varphi = \varphi(\alpha)$.

Якщо на відстані h' товщина витків dh' , у якій витків $dN' = dh' \frac{N}{H}$

Індукована напруга в такому шарі буде:

$$d\varphi = \pm dh' \frac{N}{H} \cdot \omega \int_0^H dy \frac{N}{H} \cdot I_m \cdot \cos \omega t \cdot M(h', y) = \pm \omega \cdot dh' \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^H M(h', y) dy \quad (2.5)$$

$$De \int_0^H M(h', y) dy = \Phi(h')$$

Виходячи із вказаного напрямку струму в котушці обирають від'ємний або додатний знак..

З виразу (2. 5) знаходимо індукований потенціал в котушці $\varphi = \sum d\varphi$

$$\varphi = \pm \omega \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^H \Phi(h') dh' \quad (2.6)$$

Розподіл по висоті знаходимо за допомогою наступного рівняння:

$$\varphi(h') = \pm \omega \frac{N^2}{H^2} I_m \cdot \cos \omega t \int_0^{h'} \Phi(h') dh' \quad (2.7)$$

Розглянемо інтеграл $\Phi(h') = \int_0^H M(h', y) dy$

Підставивши $h' = y' = \alpha' R$, $y = \alpha R$, отримаємо:

$$\frac{M(h', y)}{R \mu_0} = F(\alpha', \alpha) = \frac{(\alpha' - \alpha)^2}{\sqrt{(\alpha' - \alpha)^2 + 4}} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin(\beta)^2}} d\beta - \sqrt{(\alpha' - \alpha)^2 + 4} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2} \cdot \sin(\beta)^2 d\beta \quad (2.8)$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{4}{(\alpha' - \alpha)^2 + 4}}$$

$$\Phi(\alpha') = \mu_0 R^2 \int_0^{\alpha_{max}} F(\alpha' - \alpha) d\alpha \quad (2.9)$$

$$\text{де } \alpha_{max} = \frac{H}{R}$$

З останнього виразу зобразимо графік розподілу $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$ від α' (рис. 2.1):

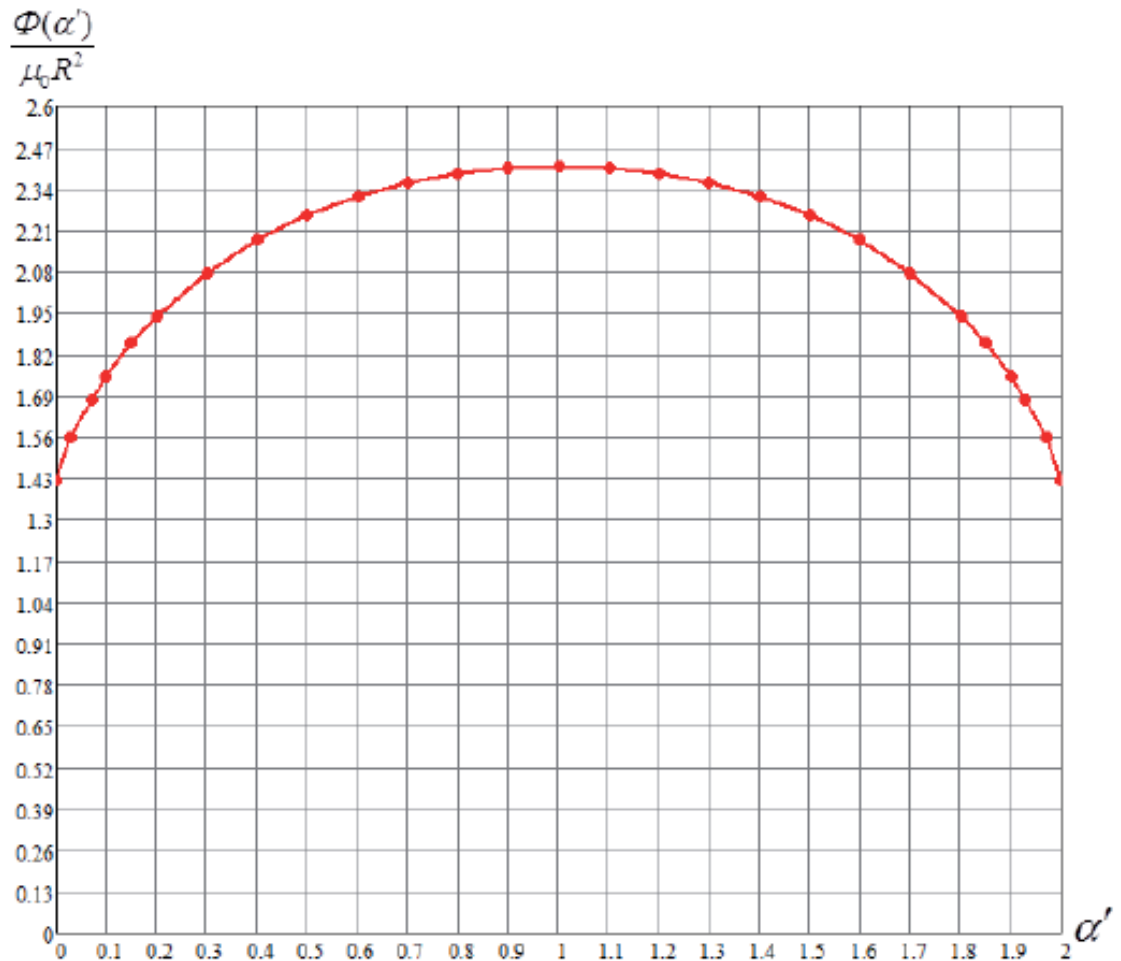


Рис. 2.1 – Залежність $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$ від α' [32]

Мінімальне значення $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$ відповідає значенням $\alpha' = 0$; $\alpha' = 2,0$ і складає 1,42392. Максимальне значення $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$ відповідає значенню $\alpha' = 1$ і складає 2,41208. Функція $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2}$ монотонно змінюється від найменшого до найбільшого значення з вершиною в точці $\alpha' = 1,0$.

З виразу (2.7) знайдемо залежність: $\varphi(\alpha') = \pm \mu_0 \cdot \frac{N^3}{H^2} R^3 \cdot I_m \cdot$

$$\cos \omega t \int_0^{\alpha'} \Phi(\alpha') d\alpha'.$$

Далі введемо $\psi(\alpha') = \int_0^{\alpha'} \Phi(\alpha') d\alpha'$ та зобразимо його на графіку (рис. 2.2)

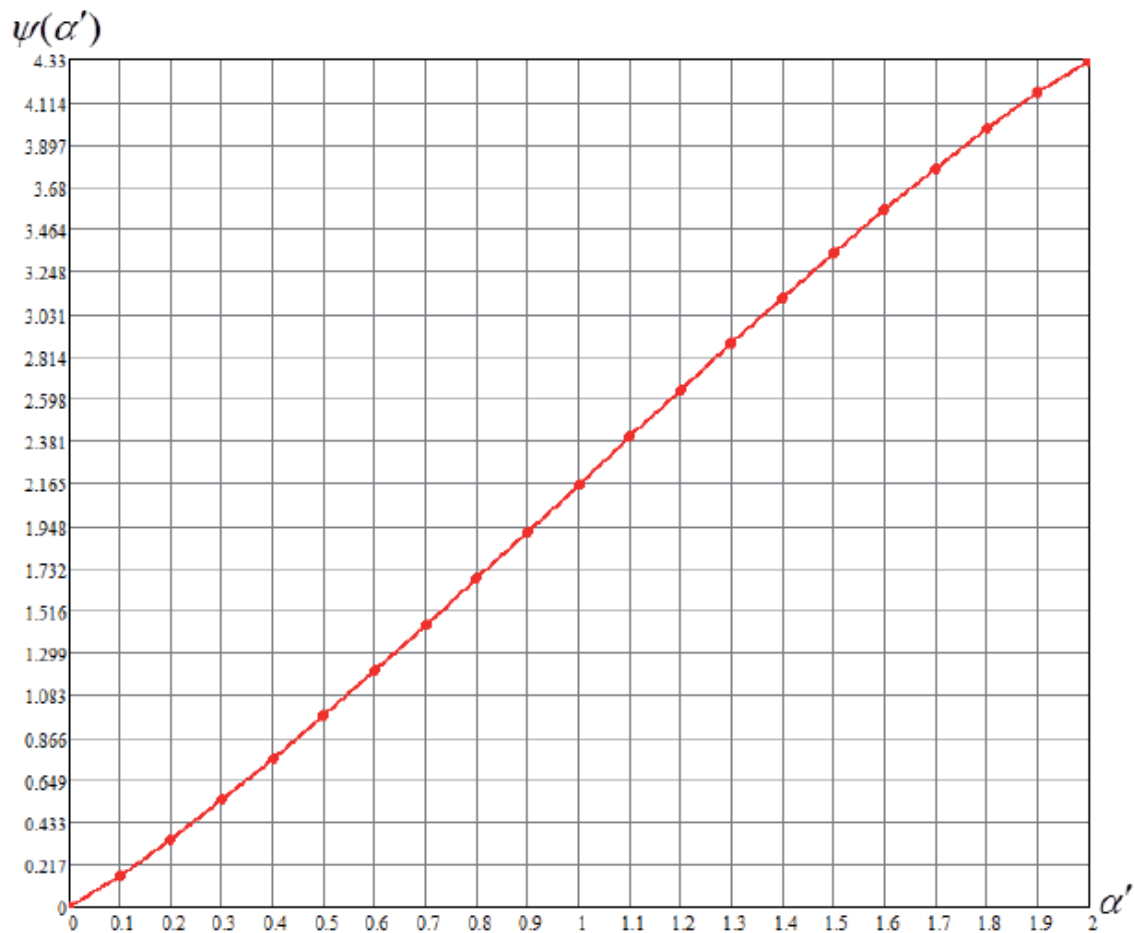


Рис. 2.2 – залежність функції $\psi(\alpha')$ [32]

З графіку видно, що функція ψ від α' має нелінійний характер.

Провівши обчислення при значеннях $\alpha_{\max} = 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 32,0; 100,0$ були одержані дані, аналогічні за змістом тим, що містяться на рис. 2.1. Результати розрахунків зображені на рис. 2.3.

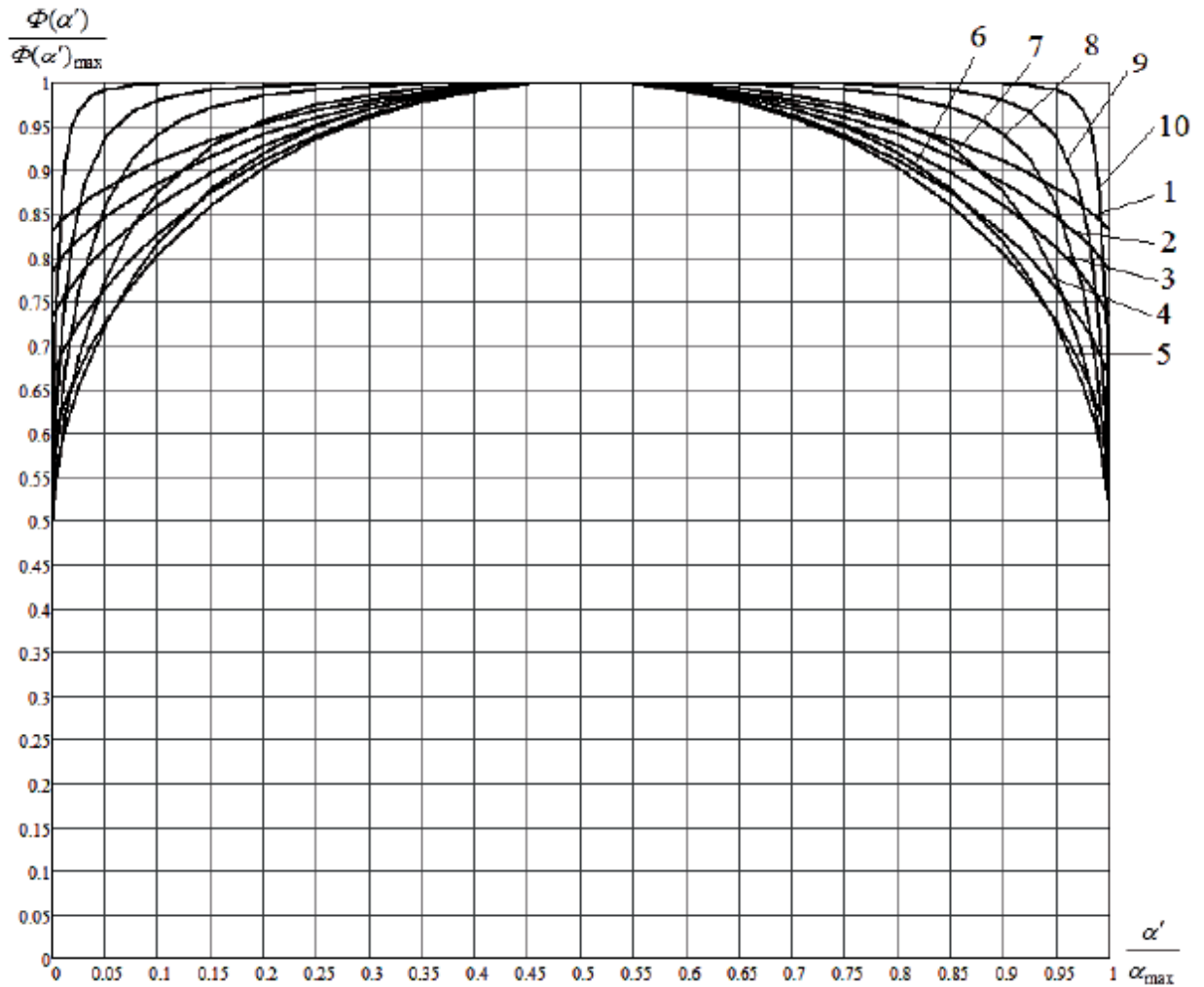


Рис. 2.3. Залежності функції $\frac{\Phi(\alpha')}{\mu_0 R^2_{max}}$ від $\frac{\alpha'}{\alpha_{max}}$ при значеннях: 1 - $\alpha_{max} = 0.1$; 2 - $\alpha_{max} = 0.25$; 3 - $\alpha_{max} = 0.5$; 4 - $\alpha_{max} = 1$; 5 - $\alpha_{max} = 2$; 6 - $\alpha_{max} = 4$; 7 - $\alpha_{max} = 8$; 8 - $\alpha_{max} = 16$; 9 - $\alpha_{max} = 32$; 10 - $\alpha_{max} = 100$ [32].

Отже, отримуємо складну залежність розподілу потенціалу, індукованого магнітним полем котушки.

Для побудови високочастотних котушок з високою стабільністю індуктивності при широких межах частот, потрібно регулювати належним чином електричне поле котушки, та зменшити відхилення її електричного потенціалу від індукованого.

3. Розподілення напруги в шарі діелектрика ізоляційної конструкції

Для досягнення високих метрологічних характеристик високовольтних подільників напруги, необхідно враховувати при їх розробці розподіл електричного поля, що виникає в їх конструкціях, а також зміна поля внаслідок впливу різних чинників. При цьому, потрібно визначати напруженість електричного поля на електродах подільника, а також в зоні розміщення елементів високовольтного плеча.

Загальновідомо, що для зниження максимальних напруженостей поля і вирівнювання розподілу потенціалу в високовольтних конструкціях застосовуються електростатичні екрани. При створенні високовольтного обладнання як у нашій країні, так і за кордоном накопичено значний досвід розрахунку і конструювання екранів [6, 7, 8, 10]. Зазвичай, вони представляють систему тороїдів, розміщених на високовольтному і низьковольтному (при необхідності) електродах конструкції. При значних лінійних розмірах ізоляційної конструкції можуть встановлюватися додаткові проміжні екрани.

У розглянутих задачах розробки високовольтних подільників напруги, незважаючи на наявність відомого розрахункового апарату високовольтних електростатичних екранів, виникли потреби проведення чисельних розрахунків електричних полів в зв'язку з наступними обставинами:

- необхідністю аналізу полів в умовах специфічної геометрії електродів;
- проведенням оптимізації конструкції подільників;
- урахуванням додаткових факторів, зокрема, впливу на розподіл поля, наявність ізоляційного остову та його форми;
- вимогами підвищення точності результатів вимірювань при конструюванні вимірювальних високовольтних пристроїв.

Завдання регулювання електричного поля у високовольтних конструкціях вирішується, загалом, шляхом зміни геометрії електродів, вибором типу і розмірів ізоляційних елементів розрахунково-теоретичними та експериментальними методами [7, 18, 19, 3, 20]. Стосовно подільників напруги, питання розподілу електричних полів і, особливо, їх регулювання розглянуті недостатньо [7, 17, 10, 21, 34, 35]. В даному розділі розглянуте завдання регулювання розподілу потенціалу в тонкому шарі діелектрика на підставі спрощеної аналітичної моделі.

Визначення напруги в шарі діелектрика може наближено розглядатися шляхом обліку розподілу активних і реактивних опорів в об'ємі діелектрика та навколишньому середовищу. При цьому враховуються активні або ємнісні опори [18], вводяться окремі спрощуючі припущення.

Зазвичай, ізоляційний каркас подільника напруги виконується у вигляді циліндра круглого перерізу, що пояснюється технологічністю його виготовлення. Такий каркас володіє має осьову симетрію, в зв'язку з цим схема заміщення для розрахунку розподілу напруги в діелектрику в припущенні, що товщина стінки каркасу подільника набагато менше його висоти, матиме вигляд, представлений на рис. 2.1, де $\mathcal{E}1$ - заземлюючий і $\mathcal{E}2$ - високовольтні електроди подільника, z - поперечний розмір ізоляційного каркасу.

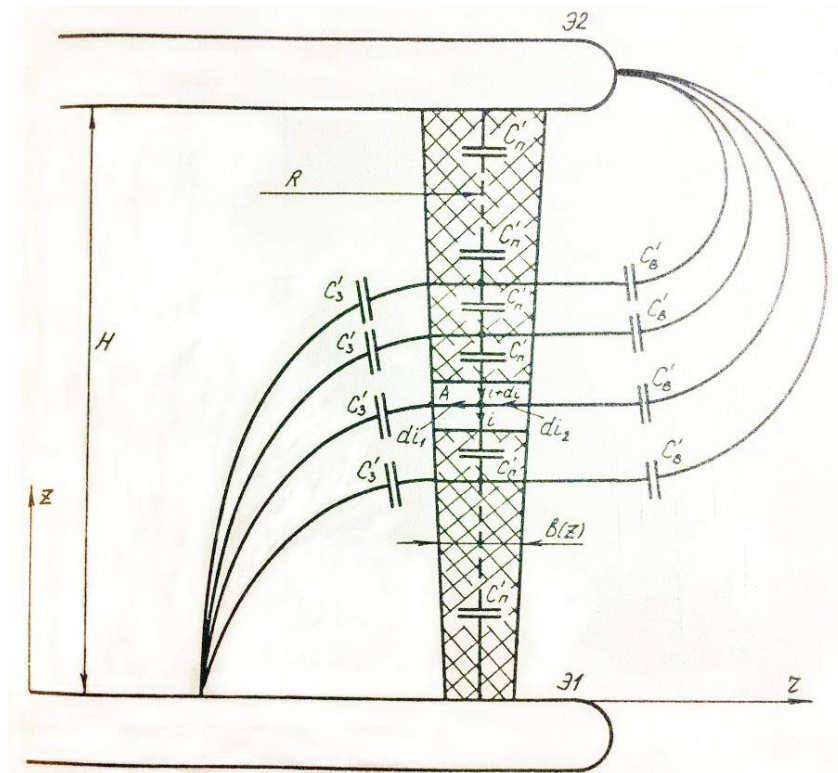


Рис.3.1 – Ізоляційний каркас подільника напруги

Активними складовими об'ємної і поверхневою провідністю діелектриків нехтуємо. Потенціал електрода ЕІ приймається рівним нулю, а електрода Е2 $U_2 = U_{m2}e^{j\omega t}$.

Розподіл напруги U в ізоляційному каркасі по координаті z буде визначатися співвідношенням

$$\dot{u} = U_m(z) * e^{j\omega t} \quad (3.1)$$

при цьому залежність $U_m(z)$ визначається розподілом питомої поздовжньої ємності $C_n(z)$ діелектрика і сумарних поперечних ємностей $C_3(z)$ і $C_b(z)$ відповідно, на електроди Е1 і Е2.

Направляючи струми i , i_1 , i_2 , які визначаються на одиницю довжини розміру, перпендикулярного площині креслення, згідно рис. 2.1, їх баланс для елемента А може бути представлений у вигляді:

$$(i + di) + di_2 = i + di_1 \quad (3.2)$$

$$\text{або} \quad di = di_1 - di_2 \quad (3.3)$$

Значення di_1, di_2 визначаються

$$\begin{aligned} di_1 &= U_m(z) \cdot \omega C_3 dz \cdot e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} \\ di_2 &= [U_{m2} - U_m(z)] \omega \dot{C}_B dz \cdot e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\text{Значення струму рівне} \quad dU_m(z) \cdot \omega C_{\Pi}(z) \cdot e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})/dz} \quad (3.6)$$

$$i = \frac{dU_m(z)}{dz} \cdot \omega C_{\Pi}(z) \cdot e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (3.7)$$

$$\text{Підставимо } di = \frac{\partial i}{\partial z} dz \quad \text{або}$$

$$di = \left(\frac{d^2 U_m(z)}{dz^2} C_{\Pi}(z) + \frac{dU_m(z)}{dz} \cdot \frac{dC_{\Pi}(z)}{dz} \right) \omega \cdot dz \cdot e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} \quad (3.8)$$

Підставляючи (3.4, 3.5, 3.7) в (3.3) і зробивши необхідні скорочення отримаємо

$$\frac{d^2 U_m(z)}{dz^2} (\dot{C}_{\Pi})_z + \frac{dU_m(z)}{dz} \frac{d\dot{C}_{\Pi}(z)}{dz} = U_m(z) \dot{C}_3 - [U_{m2} - U_m(z)] \dot{C}_B \quad (3.9)$$

Вираз (2.8) при постійній товщині діелектрика $\frac{dC_{\Pi}(z)}{dz} = 0$ і умови $\dot{C}_B = 0$ узгоджується з аналогічними формулами [18, 26].

Щоб подільник характеризувався високою точністю вимірювання різних видів напруг, необхідно домогтися еквівалентного розподілу потенціалу по колу елементів високовольтного плеча під впливом протікаючого в ньому струму, а також в результаті розподілу електричного поля в міжелектродному проміжку, яке залежить від форми і відстані між електродами Э1, Э2, форми і діелектричної проникності ізоляційного остову.

У частотному (разом з тим широко поширеному) випадку, це може бути забезпечено при лінійному розподілі напруги по висоті подільника.

Тому становить інтерес визначити з виразу (2.8) умову рівномірного розподілу напруги в шарі діелектрика ізоляційного каркасу подільника. Для цього, підставляючи в (3.8) співвідношення $U_m(z) = \dot{U}_{m2} \cdot z/H$ отримаємо

$$\frac{dC_{\Pi}(z)}{dz} = (\dot{C}_B + C_3)z - H\dot{C}_B \quad (3.9)$$

де H - висота каркасу.

В результаті інтегрування виразу (2.9) випливає:

$$C_{\Pi}(z) = C_{\Pi}(0) + \int_0^z (C_B + C_3)zdz - H \int_0^z C_B dz \quad (3.10)$$

Як приклад, вираз (2.10) можна застосувати для окремого випадку, що характеризує звичайні умови високовольтної ізоляційної конструкції: $C_B \ll C_3, C_3 \approx const$. Тоді [22]

$$C_{\Pi}(z) = C_{\Pi}(0) + \frac{C_3}{2} z^2 \quad (3.11)$$

тобто розподіл питомої поздовжньої ємності діелектрика, що забезпечує лінійне розподіл напруги по z , характеризується параболічним законом.

Визначаючи питому поздовжню ємність циліндричного тонкостінного остову (на одиницю довжини) виразом $C_{\Pi}(z) = \varepsilon_0 \varepsilon_{\partial} b(z) \cdot 1e$,

де ε_0 абсолютна діелектрична проникність вакууму,

ε_{∂} – відносна діелектрична проникність матеріалу остову

$1e$ – одиниця довжини, у відповідності з (3.11) отримаємо наступну залежність для товщини стінки циліндричного каркасу:

$$b(z) = b(0) + \frac{C_3}{2\varepsilon_0 \varepsilon_{\partial} b \cdot 1e} \cdot z^2 \quad (3.12)$$

З (3.10) виходить, що для загального випадку залежності $C_3(z)$, $C_B(z)$ профілювання товщини стінки діелектрика (в більш загальному випадку, площі поперечного перерізу каркасу $S(z)$ на одиницю довжини повинне проводитися по більш складному закону

$$S(z) = S_0 + \varepsilon_0^{-1} \varepsilon_0^{-1} \left[\int_0^z (C_1 + C_2) z \cdot dz - H \int_0^z C_2 dz \right] \quad (3.13)$$

що визначається функціями $C_3(z)$, $C_b(z)$. Розрахунок даних функцій повинен проводитись на підставі відомої картини поля в міжелектродному проміжку. Таким чином, виникає необхідність використання розрахунків двовимірного (в загальному випадку - тривимірного) розподілу потенціалу електричного поля в ділянці. В цілому, це також необхідно і через те, що шар діелектрика не завжди може бути обраний досить тонким.

Аналіз розглянутого розподілу напруги в шарі діелектрика показує, що регулюванням його товщини можна здійснювати зміну розподілу напруги по висоті подільника. Тоді, підбираючи його відповідно до розподілу напруги в ланцюзі проводячих елементів ділянки, можна здійснювати її еквіпотенційне екранування. Тим самим профільований шар ізоляційного остову подільника буде виконувати функції допоміжного екрануючого подільника напруги [36]. Дане рішення є новим для високовольтних подільників напруги і захищено авторським свідоцтвом [10].

Застосування даного рішення дозволяє замінити громіздкі конструкції вузлів допоміжного подільника, що реалізується у вигляді ланцюга з зосередженими елементами, що охоплює внутрішню вимірювальну ланцюг ділянки, фактично, шаром діелектрика з розподіленими параметрами, поєднавши останній зі звичайним ізоляційним остовом подільника. Пропоноване рішення, таким чином, крім підвищення якості регулювання розподілу напруги в делителях має також забезпечити різке зниження їх масогабаритних показників.

4. Регулювання електричного поля високовольтної котушки за допомогою профілювання діелектрика.

4.1. Оптимізація внутрішньої поверхні котушки фільтра

Останні 20 років у галузі техніки високих напруг помічається зростаюче використання електричних полів у різноманітних дослідженнях. Причинами цього є можливість широкого і доступного використання обчислювальної техніки, а також раптове підвищення вартості високовольтних досліджень [33, 20].

Схожа ситуація виникає і при створенні котушок індуктивності, що застосовуються у високочастотних фільтрах, установках на високі напруги. На високих частотах ємнісні розподілені струми котушок індуктивності послаблюють індуктивність, через що характеристики котушок індуктивності стають нестійкими в широких межах частот [22]. Щоб цього уникати, потрібно узгодити розподілення електричного та індукованого магнітного потенціалу в котушці, тобто зменшити відхилення між ними, і обидві з цих складових були незалежними в широкому частотному інтервалі, який становить 50 Гц – 10 МГц [24]. Ця проблема також стосується котушок індуктивності, що застосовуються в схемах для дослідження високовольтних ізоляторів на можливі радіозавади [24].

Удосконалюючи схеми дослідження ізоляторів на можливі радіозавади відповідно до міжнародних стандартів [9] значною мірою акцентується на покращення елементів індуктивності. Через це постає завдання регулювання електричного поля котушки методом профілювання діелектрика.

Дана проблема важлива як для високовольтних котушок, так і для подільників напруги, а одержані цим методом результати відзначають його помітну дієвість і стійкість параметрів такого методу [25].

Розташування вимірювальних подільників напруги в лабораторіях та залах для випробувань відбувається, зазвичай, в таких умовах, коли не дозволяється нехтувати впливом землі і навколишнього обладнання на

параметри подільника. Цей вплив, насамперед, спричиняє до неправильного розподілу електричного поля в подільнику, в результаті підвищується нестабільність його характеристик при вимірюванні напруги. Скорочення дії наведених факторів можливе, якщо при виконанні розробки подільника заздалегідь врахувати вплив землі шляхом відповідного вибору елементів конструкції. Для визначення ситуації поля подільника напруги з урахуванням землі застосовується методика розрахунку розподілу потенціалів у ізоляційній конструкції з прийманням симетричного відображення її елементів у відповідності до методу вирівнювання розподілу напруженості електричного поля дільника напруги за допомогою електродів [27].

Мета проведення таких розрахунків полягає у визначенні конфігурації внутрішньої поверхні ізоляційного каркасу, який, разом з електродами забезпечує розподіл напруженості поля, що наближається до однорідного, в умовах дії додаткових факторів. На відміну від випадку відокремленого подільника напруги, коли було можливо виконувати профілювання каркасу зміною тільки одного фактора, зокрема радіусу профілювання R_p , для розглянутого випадку подібне профілювання є явно недостатнім. Попередні розрахунки показали, що в даному випадку для досягнення прийнятних результатів по неоднорідності поля ($K_{пп} \sim 10\%$) необхідно вводити "складне" профілювання, тобто описувати поверхню каркасу великою кількістю параметрів. Аналіз проведених розрахунків показав, що мінімальна кількість опорних розрахункових точок зовнішньої поверхні ізоляційного каркасу може бути обрано рівним 5. Відносна діелектрична проникність матеріалу ізоляційного каркасу була постійною ($\epsilon_{\partial} = 3.5$), що відповідає такому типу матеріалу каркасу, як капролон.

4.2. Метод симплекс-планування

Внаслідок того, що кількість незалежних факторів, що визначають профіль зовнішньої поверхні ізоляційного каркасу є значною, пошук оптимальної форми профілю каркасу, що буде відповідати мінімальному спотворенню поля подільника, в загальному вигляді ускладнений, то для його визначення доцільно використовувати статистичні методи планування експериментів.

У роботі використовувався відомий ефективний послідовний симплексний метод (ПСМ) вирішення задач пошукової оптимізації [28, 29, 30]. Застосування методу послідовного симплекс-планування для визначення оптимального профілювання ізоляційного каркасу полягало в наступному.

Спочатку планувалася вихідна серія дослідів (тобто, задавались початкові значення факторів оптимізації), причому, таким чином, щоб вершини, які відповідають даним дослідом, утворюли регулярний симплекс [31] в факторному просторі. У цьому випадку центр вихідного симплекса збігається з початком координат, одна з вершин лежить на координатній вісі, а решта розташовуються симетрично щодо координатних осей, площин та гіперплощин. Координати вершин симплекса в цьому випадку можуть бути записані у виді наступної матриці [31]:

$$\begin{array}{ccccccc}
 -x_1 & -x_2 & \dots & -x_i & \dots & -x_{k-1} & -x_k \\
 x_1 & -x_2 & \dots & -x_i & \dots & -x_{k-1} & -x_k \\
 0 & 2x_2 & \dots & -x_i & \dots & -x_{k-1} & -x_k \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & ix_i & \dots & -x_{k-1} & -x_k \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & (k-1)x_{k-1} & -x_k \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & kx_k
 \end{array}$$

(4.1)

де k – кількість факторів (обраних точок для регулювання поверхні);
 i – номер фактора

$$x_i = \sqrt{\frac{1}{2i(i+1)}} \quad (4.2)$$

Матриця реальних значень факторів A_{xi} для проведення експерименту формувалась з виразу

$$A_{x_i} = x_{i,k+1} \cdot \Delta A_i + A_{0i} \quad (4.3)$$

де ΔA_i — крок зміни i -го фактору;

A_{0i} — середнє значення i -го фактору.

Після розрахунку значень цільової функції ($K_{ип}$) для вихідної матриці симплексу, яке ґрунтується на розрахунку картини поля каркасу катушки при заданні профілю поверхні каркасу точками з координатами, які відповідають рядкам матриці вихідного симплексу, які були розраховані за формулою (4.3), проводиться порівняння отриманих значень. Вершина симплексу, що відповідає найбільшому значенню $K_{ип}$, умовно викреслюється і утворюється новий симплекс, способом додавання однієї нової вершини до решти, які залишились. Коефіцієнти $x_{i,k+1}$ для визначення координат нової вершини, шукають з виразу

$$x_{i,k+1} = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k x_i - x_i^* \quad (4.4)$$

$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i$ - середнє значення координат усіх вершин симплекса крім вершини з максимальним значенням $K_{ип}$

x_i^* - координата вершини з максимальним значенням $K_{ип}$

Як зазначається в [28], для швидкого та безпомилкового отримання оптимуму функції відгуку важливо правильно обрати середнє вихідне значення факторів і кроку їх зміни. В ході роботи було виявлено те, що з кроком зміни факторів, рівному 10-50 мм буде відбуватися швидке наближення до оптимальної точки, але при цьому стає підвищиться ймовірність пропустити цю точку оптимуму, і не буде досягнутий найбільший можливий оптимум. Якщо ж прийняти крок зміни в межах від 5 до 10 мм, то ймовірність знайти максимально можливу точку функцію відгуку функції набагато зросте, але це буде потребувати значно більше часу для пошуку та кількості розрахунків. Також у цьому випадку є загроза отримати місцеве значення оптимуму, а не загального, що не дасть бажаних результатів.

Враховавши зазначені умови, можливо проводити симплекс-пошук у кілька етапів, але було вирішено виконувати пошук одним етапом, попередньо виконавши декілька пробних розрахунків для початкових значень факторів, з тією метою, щоб спробувати проаналізувати результати і зрозуміти, куди рухатися для досягання вершини симплексу і яким чином раціональніше проводити оптимізацію при якомога коротшій серії експериментів. Потім будується новий симплекс, де в якості середніх значень факторів приймаються значення, які характеризують знайдену вершину і проводиться нова серія експериментів при зменшеному кроці зміни факторів. Описаний метод, фактично, аналогічний методу зі змінним кроком планування [28].

4.3. Розрахунок електричних полів

Середовищем для роботи було обрано COMSOL Multiphysics [38], що дозволяє проводити експерименти, розраховувати магнітні та електричні поля (рис. 4.2.1).

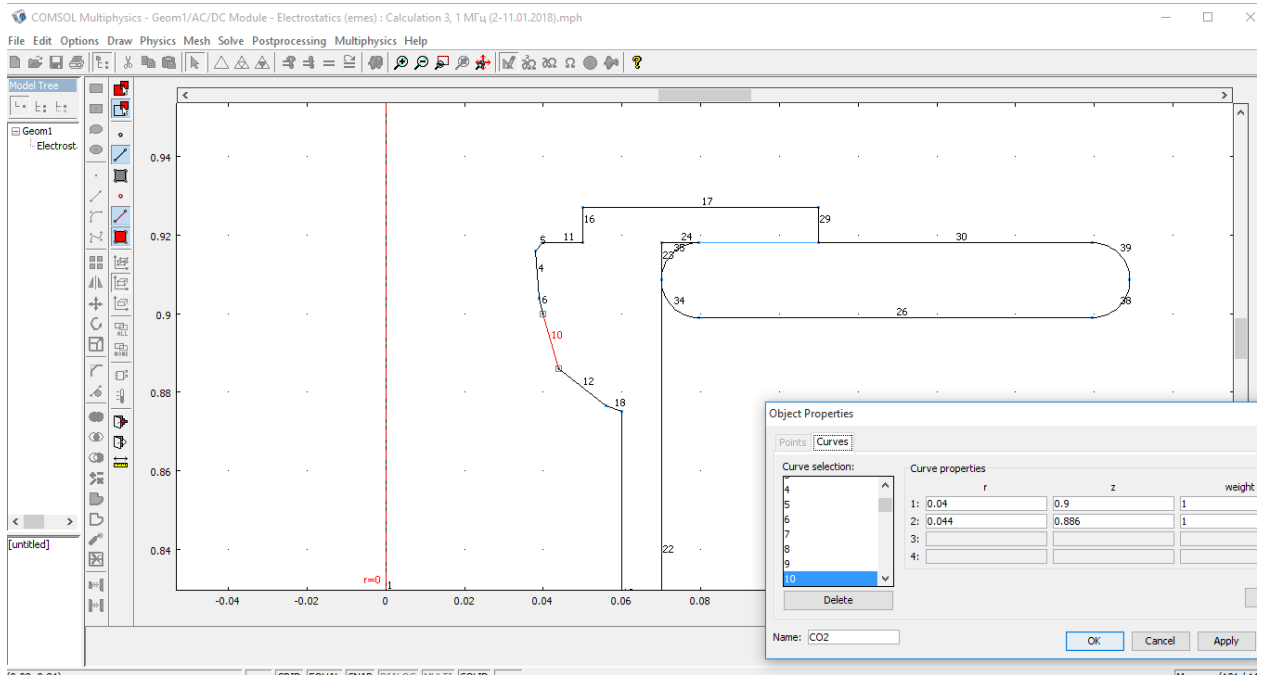


Рис. 4.2.1 - Вид програмного середовища COMSOL Multiphysics

Методика роботи в цій програмі наступна.

1) Спочатку по координатам будується досліджувана поверхня. Далі, для того, щоб розрахувати електричні та індукційні потенціали, необхідно виконати таку послідовність дій:

2) На верхній панелі натиснути кнопку «Initialize mesh» для побудови сітки (рис. 4.2.2);

3) Натиснути «Refine mesh», щоб роздробити сітку і в обчисленні отримати більш точні значення;

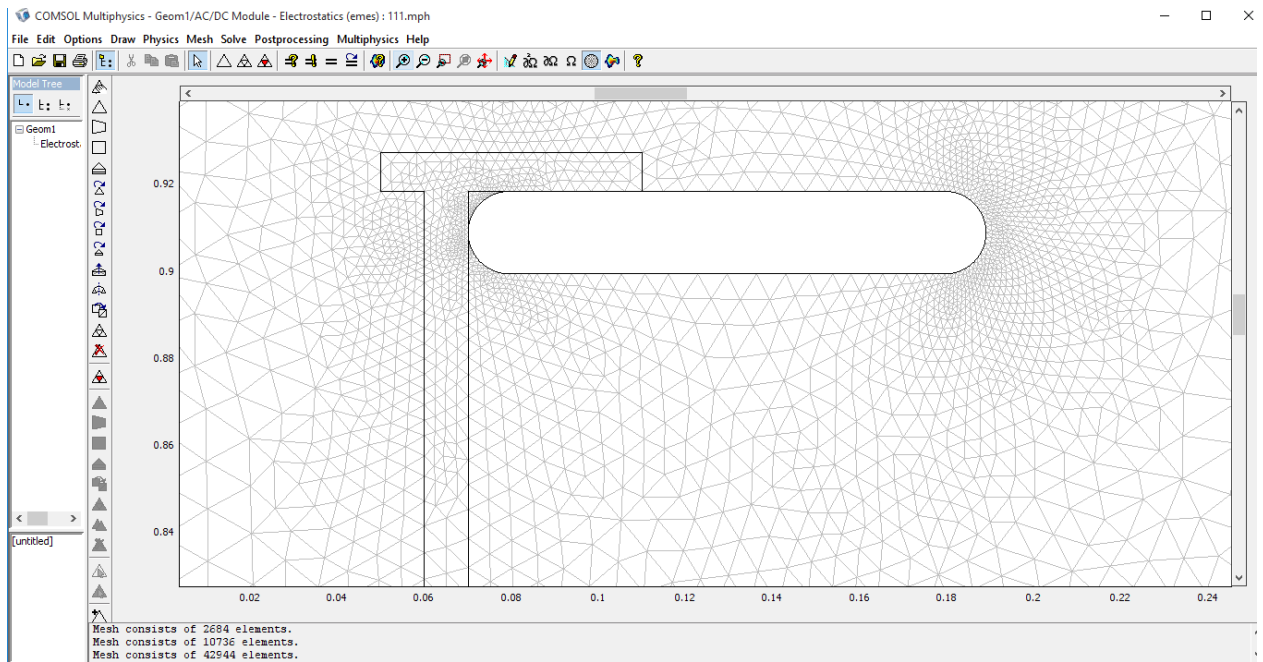
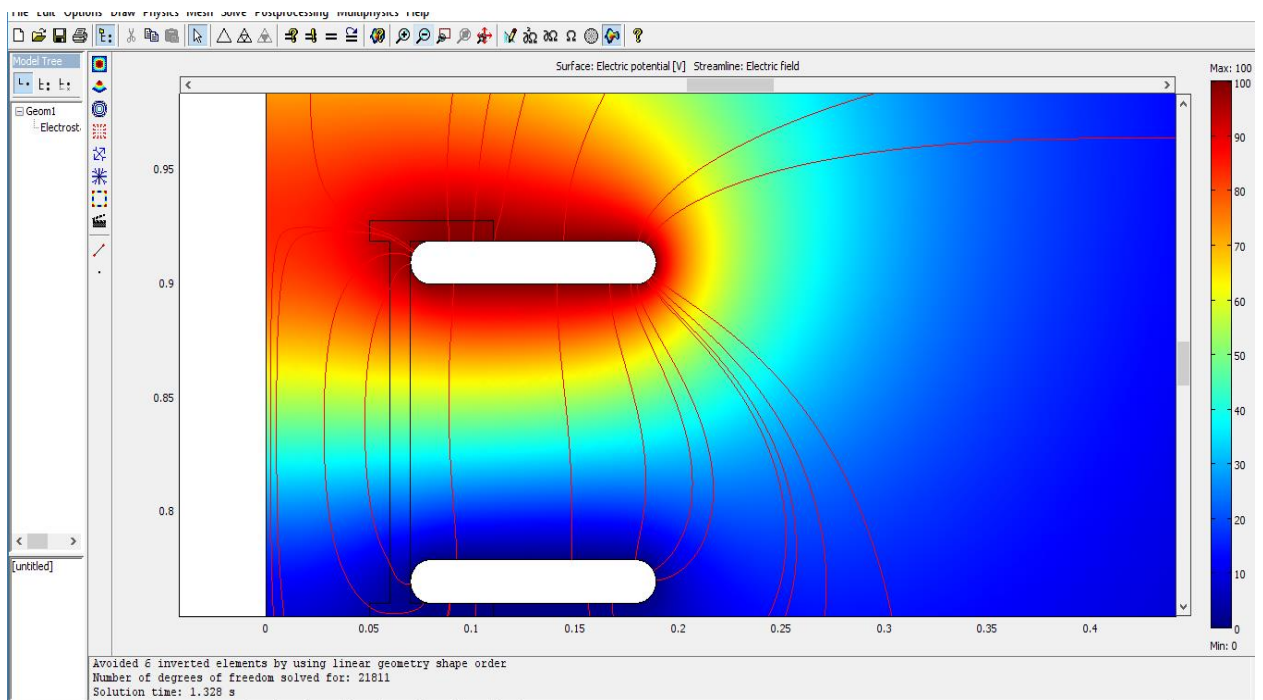


Рис. 4.2.3 – Побудова сітки

4) Натиснути «Solve» і підтвердити.

5) Натиснути на «Postprocessing» – Cross-section plot parameters – OK.

При цьому в окні буде програми буде зображено інтенсивність електричного поля (рис. 4.2.3).



7) Далі – «Export current plot» для завантаження в пам'ять комп'ютера числових значень індукованих та електричних потенціалів на певних висотах. Ці значення будуть далі використовуватися для розрахунку різниці цих полів, щоб в отримати змогу детально їх проаналізувати.

У таблиці 4.1 зображено індуковані та електричні потенціали до виконання оптимізації поверхні. При цьому форма каркасу буде наступною (рис.4.1)

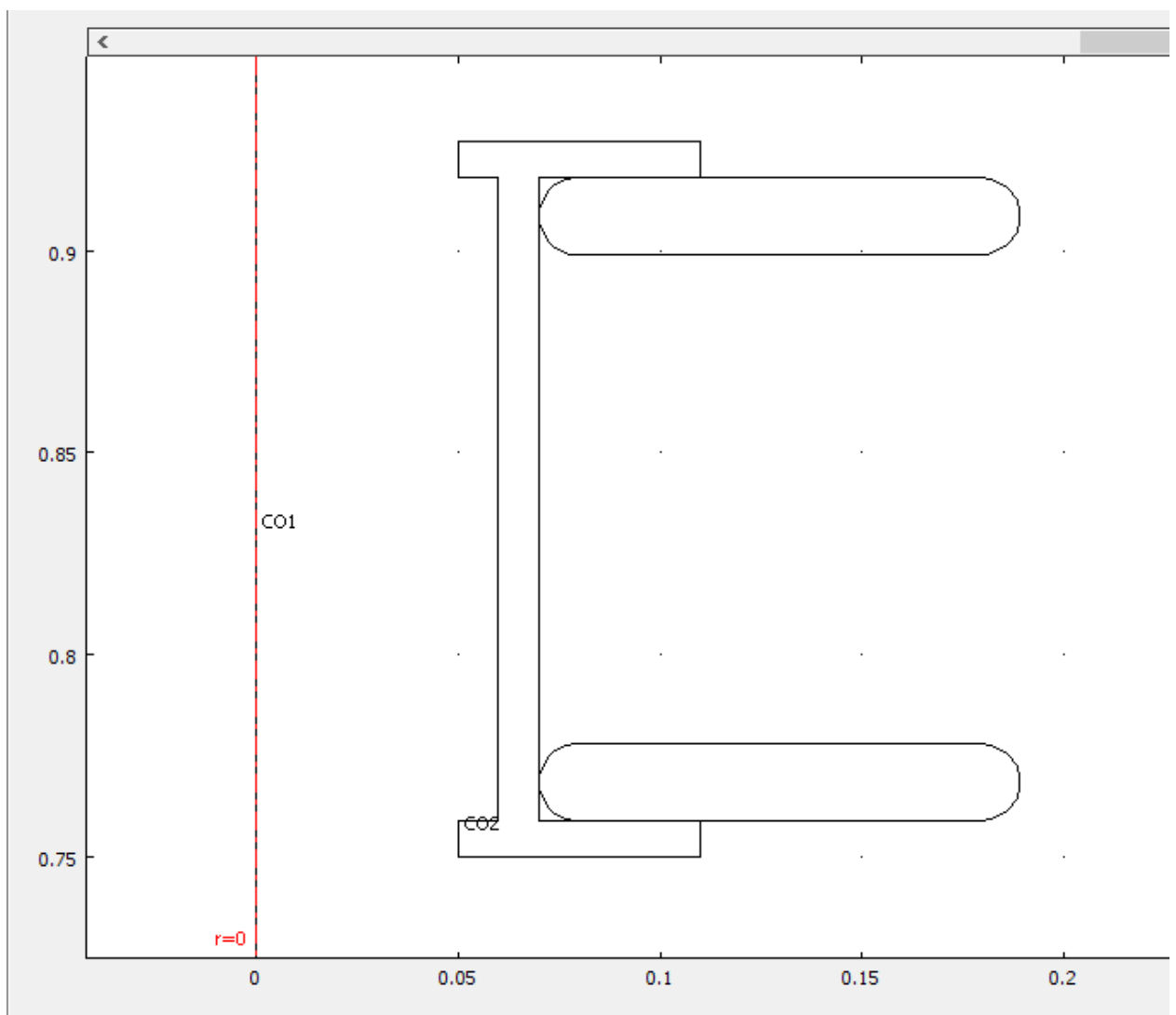


Рис.4.1 – вигляд поверхні котушки до проведення оптимізації

Табл. 4.1 - Розрахункові значення індукованого та електричного потенціалів

Номери дослідів	Вершина	Координати вершин				
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	A	-0.5	-0.2887	-0.2041	-0.1581	-0.1291
2	B	0.5	-0.2887	-0.2041	-0.1581	-0.1291
3	C	0	0.5774	-0.2041	-0.1581	-0.1291
4	D	0	0	0.6124	-0.1581	-0.1291
5	E	0	0	0	0.6325	-0.1291
6	F	0	0	0	0	0.6455

Залежність розподілу індукованого ψ_1 і електричного ψ_2 потенціалів буде виглядати наступним чином:

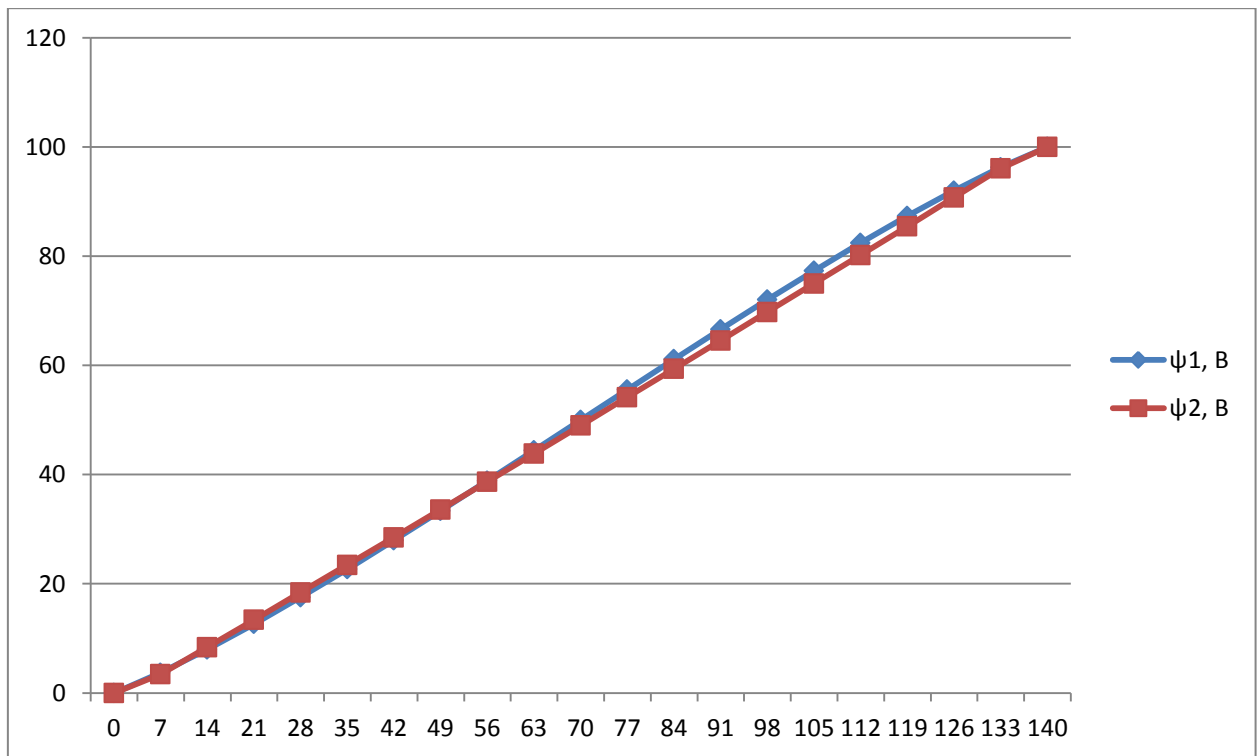


Рис. 4.2. Залежності розподілення електричного та індукованого потенціалів

У зв'язку з таким великим розходженням потенціалів необхідно провести оптимізацію поверхні, що повинно узгодити поля, і зменшити різницю їх потенціалів.

4.4. Проведення оптимізації форми ізоляційного каркасу катушки

У програмному середовищі Mathcad 15.0 були виконані розрахунки за методом симплекс-планування, описаним в попередньому підрозділі.

У таблиці 4.1 наведені числові значення елементів матриці при кількості факторів $k = 5$.

У наступній таблиці 4.2 вказано значення 5 факторів та обраний крок їх варіювання.

Табл. 4.2 – Таблиця середніх значень всіх факторів з кроком їх варіювання (Δr) та радіусом ізоляційного каркасу котушки (r_{0i})

	Фактори				
	1	2	3	4	5
Δr	4	4	4	4	4
r_{0i}	60	60	60	60	60

Обчислення розподілу індукованого потенціалу проводиться за методом [32]. Для цього обрана котушка висотою 140 мм, зовнішнім діаметром 140 мм, а її найбільший індукований магнітний потенціал становить 100 В (рис. 4.3).

Процедура пошуку внутрішнього профілю поверхні (інакше – профілювання) каркасу катушки здійснюється таким способом: на внутрішній поверхні ізоляційного каркасу на координатній площині rz встановлюються точки каркасу катушки $A (40; 0)$ та $B (40; 159)$, які

з'єднуються прямою. На даній прямій AB розміщується 21 точка з однаковою відстанню між ними, рівною 7 мм, та проводиться пошук оптимуму за послідовним симплекс-методом [28].

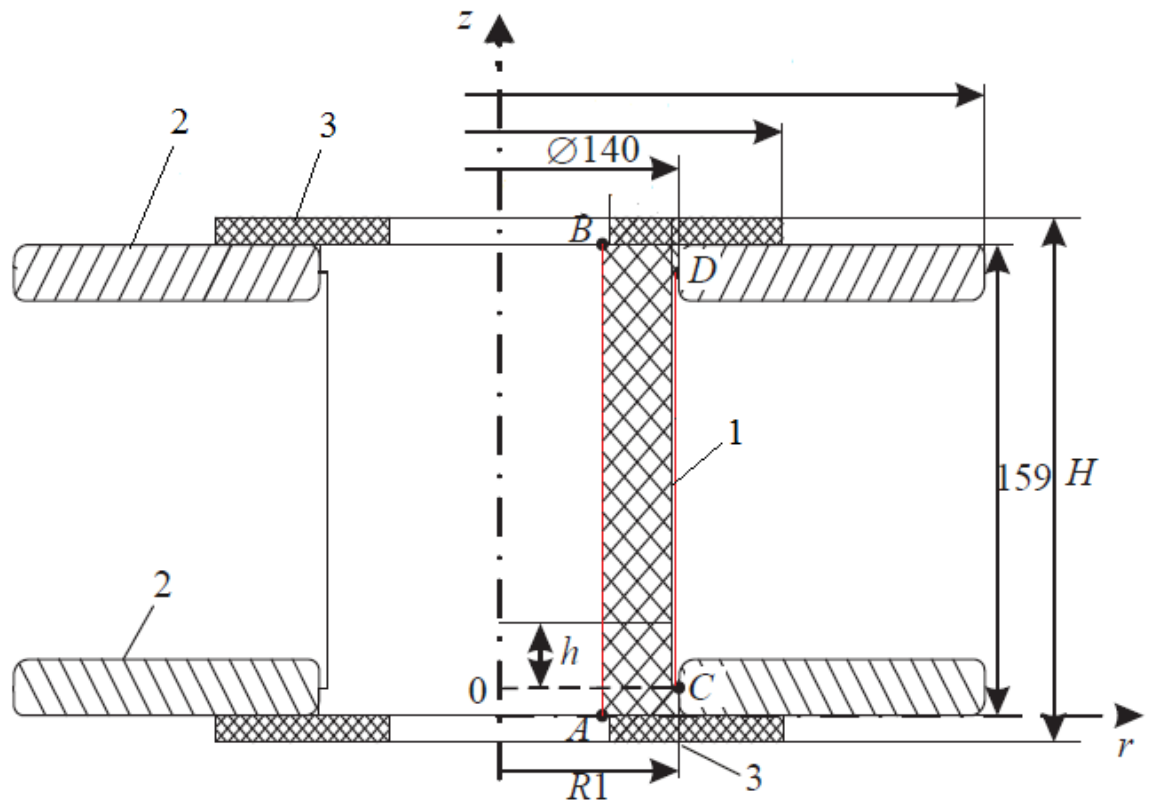


Рис. 4.3 - Модель котушки: 1 — ізоляційний каркас; 2 — кільцеві електроди; 3 — ізоляційні з'єднуючі кільця [33]

За формулою 3.4 розраховуємо реальні значення перших 6 експериментів з реальними значеннями координат для 5 верхніх точок біля верхнього екрану. Ці точки були обрані з тієї причини, що вони знаходяться у найбільш напруженій зоні каркасу котушки. Нижче наведена таблиця з отриманими значеннями координат та максимальної різниці електричного та індукованого потенціалів для початкових 6 експериментів.

Табл. 4.3 – Таблиця для проведення експериментів з реальними значеннями координат точок оптимізації

№	X_{20}	X_{19}	X_{18}	X_{17}	X_{16}	$\Delta\psi_{\max}$
1	58	58.8453	59.184	59.368	59.4836	-2,25648, 16-та точка
2	62	58.8453	59.184	59.368	59.4836	-2,3001300, 16-та точка
3	60	62.3094	59.184	59.368	59.4836	-2,3980200, 16-та точка
4	60	60	62.449	59.368	59.4836	-2,51939, 16-та точка
5	60	60	60	62.53	59.4836	-2,61684, 16-та точка
6	60	60	60	60	62.582	-2,670865, 16-та точка

Потім були проведені серії оптимізаційних розрахунків пошуку оптимальної поверхні відповідно до методики, описаної в п. 4.2. Виконавши 45 експериментів для верхньої половини ізоляційного каркасу, було отримано поверхню, що забезпечує мінімальну різницю між електричним та індукованим магнітним полем.

В таблиці 4.4 показані значення всіх розрахованих поверхонь для порівняння параметрів їх електричних та індукованих потенціалів.

Табл. 4.4 – Порівняльна таблиця розрахункових значень різниці між індукованими та електричними потенціалами 45 проведених експериментів

[illegible]

№ точок	Експерименти				
	41	42	43	44	45
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	-0,3500408	-0,3458350	-0,3498090	-0,3486775	-0,3456725
3	0,1617690	0,1717840	0,1623290	0,1650310	0,1721580
4	0,5031340	0,5191860	0,5040530	0,5083430	0,5197550
5	0,6569700	0,6792260	0,6582570	0,6641890	0,6799780
6	0,6548270	0,6835150	0,6565000	0,6641290	0,6844400
7	0,5329080	0,5683300	0,5350000	0,5443840	0,5693970
8	0,3258000	0,3683350	0,3283450	0,3395720	0,3695100
9	0,0649530	0,1150860	0,0680000	0,0811650	0,1163000
10	-0,2207840	-0,1624650	-0,2171500	-0,2019360	-0,1612940
11	-0,5045900	-0,4373930	-0,5002500	-0,4828640	-0,4363860
12	-0,7607100	-0,6838860	-0,7554720	-0,7358000	-0,6831900
13	-0,9639270	-0,8768800	-0,9574700	-0,9354500	-0,8766200
14	-1,0895560	-0,9925400	-1,0813100	-1,0570850	-0,9925900
15	-1,1196860	-1,0163700	-1,1086400	-1,0830600	-1,0154100
16	-1,0796860	-0,9853100	-1,0643000	-1,0405600	-0,9782400
17	-1,0950300	-1,0390300	-1,0734300	-1,0582540	-1,0176350
18	-1,1871100	-1,1742300	-1,1590000	-1,1560900	-1,1427900
19	-1,0542650	-1,0624740	-1,0270000	-1,0331700	-1,0356700
20	-0,3255400	-0,3360700	-0,3126900	-0,3202800	-0,3252900
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

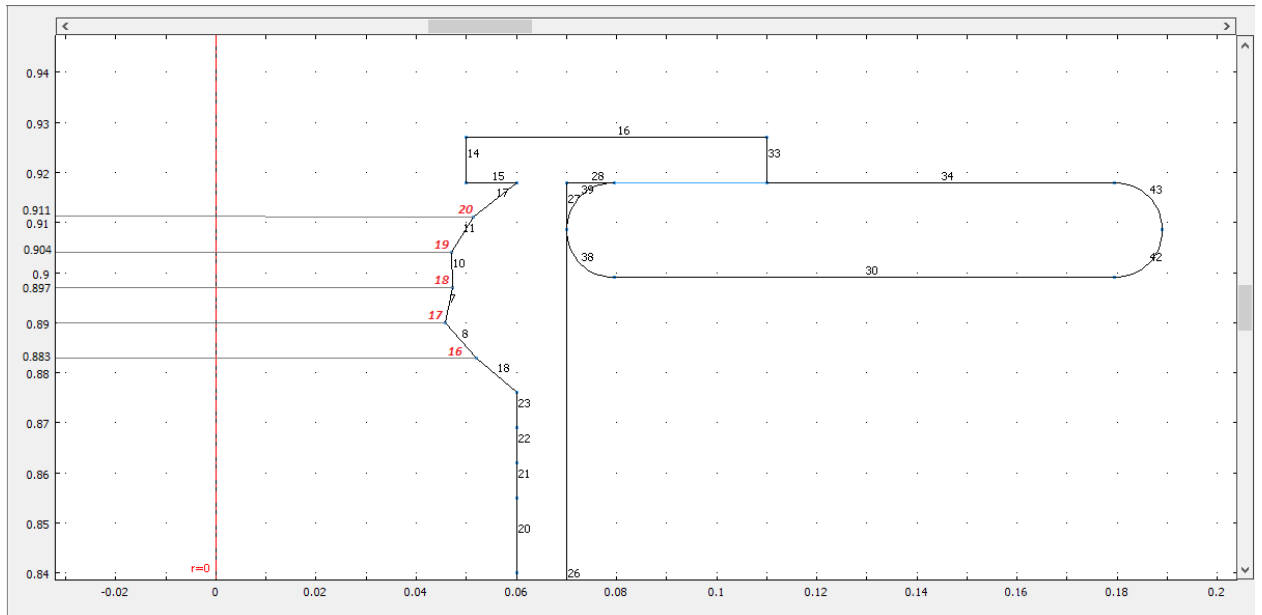


Рис. 4.4 - Оптимізований профіль верхньої половини каркасу котушки

Після цього була симетрично побудована нижня половина ізоляційного каркасу котушки і розрахований розподіл поля по всьому каркасу. На рисунку 4.2 зображений отриманий оптимізований профіль каркасу.

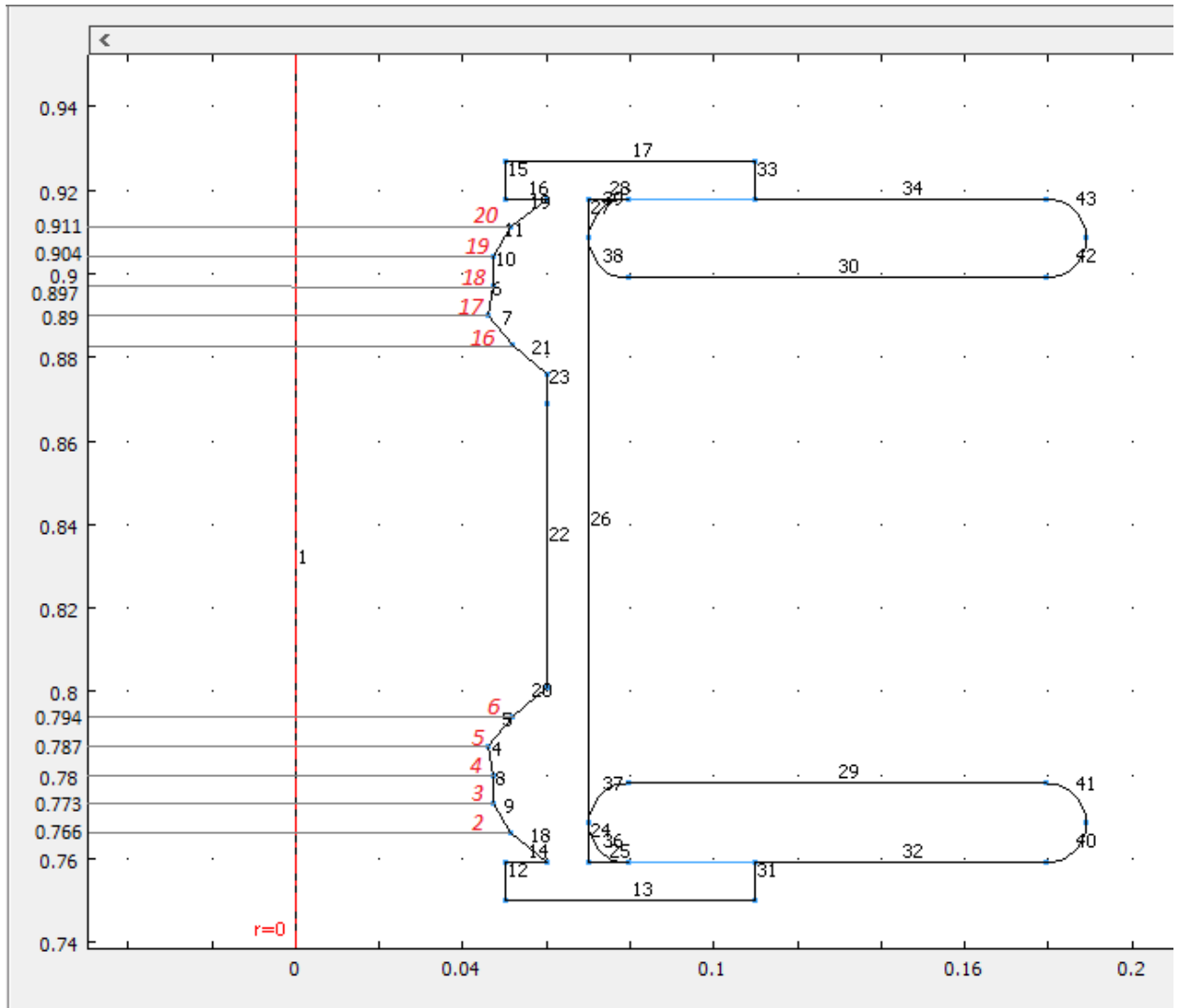


Рис. 4.5 - Оптимізований профіль внутрішньої поверхні каркасу котушки

У табл. 4.5 подано розрахункові значення індукованого ψ_1 та електричного ψ_2 потенціалів, а їх залежності яких зображені на графіку нижче (рис. 4.3).

Табл. 4.5 – Розрахункові значення індукованого та електричного потенціалів оптимізованої поверхні.

№ П/П	h , мм	ψ_1 , В	ψ_2 , В	$\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1$, В
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	7,0	3,72307	3,5552990	-0,1677710
3	14,0	7,99940	8,2070040	0,2076040
4	21,0	12,6415	12,7457050	0,1042050
5	28,0	17,5601	17,3870900	-0,1730100
6	35,0	22,6887	22,3565640	-0,3321360
7	42,0	27,9771	27,5893460	-0,3877540
8	49,0	33,3849	32,9113850	-0,4735150
9	56,0	38,8778	38,2621770	-0,6156230
10	63,0	44,4255	43,6309900	-0,7945100
11	70,0	50,0	49,0174000	-0,9826000
12	77,0	55,5744	54,4224620	-1,1519380
13	84,0	61,1221	59,8467250	-1,2753750
14	91,0	66,6150	65,2877500	-1,3272500
15	98,0	72,0228	70,7318800	-1,2909200
16	105,0	77,3112	76,1136250	-1,1975750
17	112,0	82,4398	81,2524500	-1,1873500
18	119,0	87,3584	86,0912500	-1,2671500
19	126,0	92,0006	90,8842850	-1,1163150
20	133,0	96,2779	95,9172000	-0,3607000
21	140,0	100,0	100,0	0,0

Як бачимо, максимальне значення функції відгуку оптимізованої поверхні складає $\Delta\psi = -1,32725$ В (у 14-й точці), що не перевищує межу ± 1 %.

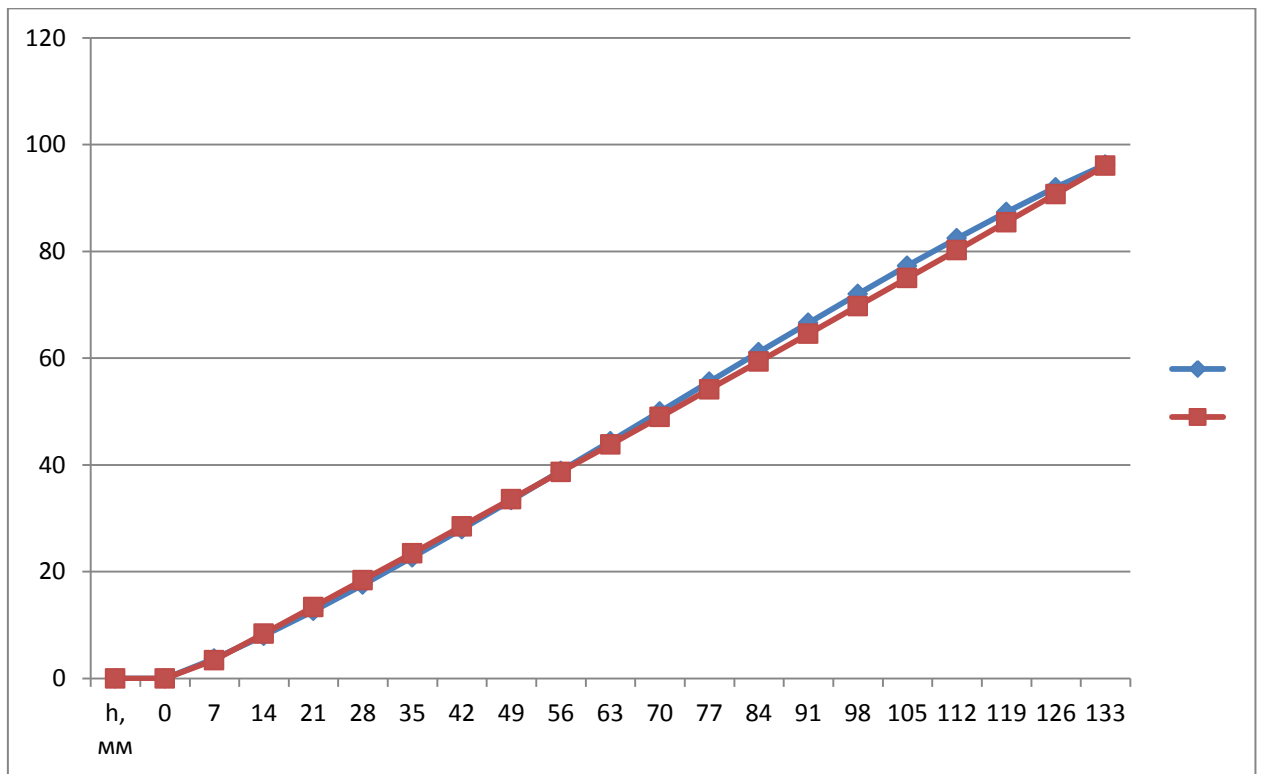


Рис. 4.6 Залежності розподілення електричного та індукованого потенціалів

На рисунку 4.7 зображено накладені одна на одну оптимізована та неоптимізована поверхні для демонстрації візуальної різниці між ними.

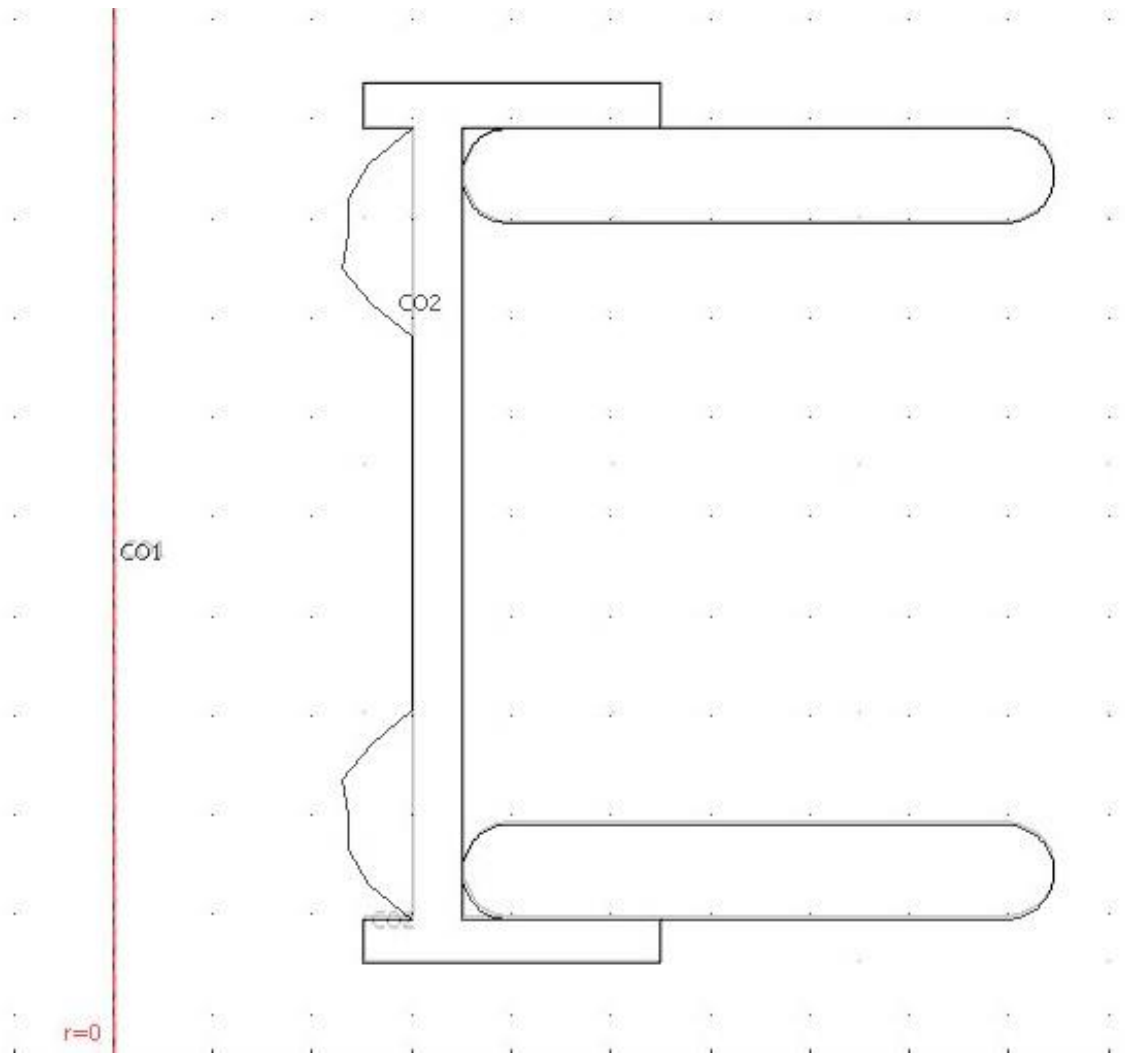


Рис. 4.7- Відмінність оптимізованої та неоптимізованої поверхонь

5. СТАРТАП: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРУ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ВИСОКОВОЛЬТНІЙ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

5.1. Опис ідеї проекту

Котушка індуктивності є невід'ємною складовою частиною високочастотних загороджувачів, за допомогою яких по повітряних лініях високої напруги відбувається формування високочастотних каналів зв'язку для забезпечення передачі сигналів протиаварійної автоматики, релейного захисту частотою 24–1000 кГц.

Наявне на ринку високовольтне електрообладнання і стандарти перевірки ізоляторів на допустимий рівень радіозавад мають досить низьку чутливість, яка зумовлена недоліками високочастотних загороджувачів, що застосовуються у випробувальному устаткуванні.

Через це сучасні норми по виготовленню високовольтних ізоляторів вимагають покращення чутливості високовольтного обладнання по перевірці ізоляторів на можливі радіозавади та покращення чутливості. Зменшення різниці розподілення електричних та магнітних потенціалів в високочастотних котушках індуктивності покращить стабільність параметрів високочастотних загороджувачів у більш широких межах частот.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартапу підвищення стабільності параметрів котушок індуктивності в більшому частотному широкому діапазоні

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Оптимізація розподілу електричного поля в	1.Підвищення стабільності характеристик котушок індуктивності.	Висока чутливість високовольтного електрообладнання

високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів	2. Збільшення меж частот застосування зі збереженням стабільності характеристик (від 50 Гц до 10 МГц)	Можливість застосування котушок індуктивності у більш широких межах частот
---	---	--

Нижче наведено суть проекту, сфера його використання, переваги, порівняння зі схожими існуючими розробками.

Після дослідження передбачуваних переваг ідеї у порівнянні з конкуруючими, встановили, що в високочастотній котушці індуктивності електричні та індуковані магнітні потенціали узгоджуються між собою, різниця між ними становить не більше 1%, що дає можливість її застосувати в більш широких межах частот, які становлять 50 Гц – 10 МГц, при цьому зберігаючи стабільними свої характеристики.

Виконане дослідження з порівнянням ключових особливостей для власної ідеї за такими значеннями, як гірші (W, слабкі), кращі (S, сильні) та аналогічні (N, нейтральні).

Таблиця 5.2 – Визначення недоліків, переваг та нейтральних ознак ідеї оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів

Техніко – економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент			
Оптимізація розподілу електричного поля в високовольт	Узгодження електричного і магнітного потенціалів	Застосування феритових осердь у соленоїдал	Необхідність створення державних нормативн	Часткове застосування існуючих методів	Широкий частотний діапазон застосування

ній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів	у катушках індуктивності	ьних катушках для їх використання в якості датчиків зі зменшеними рівнями шумів	о документів	узгодження електричного і магнітного потенціалу в у катушках індуктивності.	високовольтних катушок
---	-----------------------------	---	-----------------	--	---------------------------

За наведеними ознаками можна стверджувати про конкурентоспроможність ідеї оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

У цьому підрозділі виконаний аудит технології по втіленню проекту.

Для реалізації проекту необхідні наступні складові (табл. 5.3):

- 1) Спосіб технологічного виконання;
- 2) Існування або можливість створення такої технології;
- 3) Доступність даної технології виконавцю проекту.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів

№ п/п	Ідея проекту	Технологія реалізації	Існування або можливість створення технології	Доступність технології виконавцю проекту
	Оптимізація розподілу електричного поля в високовольтній катушці	Технологія зміни внутрішньої поверхні катушки за допомогою	Технологія наявна	Технологія доступна

1	високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів.	послідовного симплекс-методу		
---	---	------------------------------	--	--

Після розгляду таблиці можна зробити висновок, що здійснення запропонованої ідеї є можливим.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап- проекту

Для успішної реалізації власного стартапу необхідно розуміти ситуацію на ринку: потреби потенційних клієнтів, а також існуючі пропозиції з їх перевагами та недоліками.

В табл. 5.4 показані результати дослідження попиту: його наявність, величина та ситуація на ринку.

Табл. 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку проекту оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів.

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних учасників	10
2	Загальний обсяг продаж, умов.од.	--
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимагають розробки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Далі зазначені можливі групи клієнтів та орієнтовні вимоги до кожної групи (табл. 5.5).

Табл. 5.5 – Характеристика можливих клієнтів проекту стартапу по оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів

№ п/п	Потреба, формуюча ринок	Цільова аудиторія	Відмінності поведінки можливих груп клієнтів	Вимоги до товару споживача
1	Оптимізація розподілу електричного поля в високовольтній котушці височастотного фільтра установки випробування ізоляторів	Компанії та дослідні установи, як використовують у своїй діяльності високовольтні височастотні фільтри, схеми високих напруг і частот	Відсутня єдина стандартизація	Забезпечення високої чутливості обладнання

За визначеними факторами конкурентоспроможності виконане дослідження переваг та недоліків проекту стартапу (табл .5.8).

Табл.5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збільшення курсу валюти	Зростання вартості помилки при виборі постачальника.	Підтримка розробки робить неможливим зменшення ймовірності помилки
2	Захисні заходи по підтримці українських виробників	Звуження доступу іноземним компаніям.	Співпраця з вітчизняними виробниками.

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Можливе долучення до стандартів МЕК.	Створення найбільш необхідної бази нормативних документів.	Розробка компанією пропозиції з урахуванням стандартів МЕК.
2	Перехід на виробництво	Ймовірне зростання	Створення бази

	високовольтних Ізоляторів, які задовольняють сучасні вимоги.	попиту.	потенційних клієнтів
--	--	---------	----------------------

Таблиця 5.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін оптимізації розподілу електричного поля в високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг оптимізації розподілу електричного поля у високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів у порівнянні з конкурентом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Підвищення стабільності характеристик котушок індуктивності.	15	X						
2.	Підвищення чутливості високовольтного обладнання.	10		X					
3.	Розширення частотного діапазону.	15	X						
4.	Розроблення нормативної документації.	17						X	
	Загальний результат		-6	-2				+2	

Розглянувши табл. 5.8 можна зробити висновок, що у проекта стартапу є переважаючі фактори конкурентоспроможності за такими ознаками, як підвищення стабільності характеристик котушок індуктивності, підвищення чутливості високовольтного обладнання, розширення частотного діапазону, в той час як суммарний рейтинг конкурентів складає «-8».

Програє даний проект за ознакою відсутності нормативної документації, що дає рейтинг конкурентних пристроїв «+2».

На основі порівняльного аналізу переваг та недоліків проект оптимізації розподілу електричного поля у високовольтній котушці високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів проведено SWOT – аналіз проекту стартапу, який наведено у таблиці 5.9.

Табл. 5.9 – SWOT – аналіз проекту стартапу

<u>Сильні сторони</u> : висока стабільність характеристик котушок, висока чутливість високовольтного обладнання, широкий діапазон частот.	<u>Слабкі сторони</u> : потреба створення нормативних державних документів.
<u>Можливості</u> : за рахунок зменшення різниці між електричними та індукованими магнітними потенціалами, параметри котушок індуктивності в схемах для дослідів ізоляторів будуть залишатися стабільними в широких частотних межах.	<u>Загрози</u> : Збільшення курсу валюти спричинить зростання витрат на матеріали котушок. Скоротиться доступ іноземних виробників, залишаючи на ринку вітчизняні.

Висновки до розділу 5

1. Так як є попит на даний проект, який має свої конкурентні переваги, можна зробити висновок щодо комерціалізації високовольтної котушки високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів з оптимізованим розподілом електричного поля – є перспективи у вводу даної технології, наявна цільова аудиторія клієнтів.

2. Рекомендований час для виведення на ринок високовольтної котушки високочастотного фільтра установки випробування ізоляторів з оптимізованим розподілом електричного поля – у 2018-2023 роках.

ВИСНОВКИ

У результаті роботи над магістерською дисертацією вдалося виконати оптимізування внутрішньої поверхню діелектричного каркасу котушки використовуючи в ході роботи послідовний симплекс-метод. Отримана оптимальна форма внутрішньої поверхні каркасу котушки. Наслідком цього стало суттєве зменшення різниці між електричним та індукованим потенціалом, що, в свою чергу, позитивно вплинуло на стабільність параметрів котушки в широкому діапазоні частот.

Досвід проведених розрахунків довів ефективність регулювання розподілення поля в діелектричних конструкціях, зокрема, ізоляційному каркасі котушки височастотного фільтру установки для вимірювання завад, згенерованих високовольтними ізоляторами.

Виявлено, що найбільш значні результати з'являються у випадку регулювання товщини каркасу в верхній частині котушки біля екрану, що характеризується підвищеною напруженістю поля у тій зоні. Це також підтверджується виконаним розрахунком при оптимізації каркасу без нижнього екрану.

На основі сумісного застосування методів пошукової оптимізації і розрахунку електричних полів розроблені алгоритми вирішення оптимізації профілю поверхні ізоляційного каркасу з врахуванням його практичного використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Электромагнитная совместимость в электроэнерготехнике: учебник / А.Г. Овсянников, Р.К. Борисов. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. - 196 с. (Серия "Учебники НГТУ").
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 26196-84. Метод измерения промышленных радиопомех.
3. Колечицкий Е.С. Анализ и расчет электрических полей. Ч1 и 2. — М.: Моск.энергет. ин-т, 1977. — 160 с.
4. А. с. 1119182 СССР, МПК H04B3/54. Высокочастотный заградитель / А.П. Райва, Московское производственное объединение «Электрозавод» им. В.В. Куйбышева. — 3475932; заявл. 23.07.82; опубл. 15.10.84, Бюл. № 38. — 4с.
5. Микуцкий, Г. В. Высокочастотная связь по линиям электропередачи [Текст]: учебник / Г. В. Микуцкий, В. С. Скитальцев. — М.: Энергия, 1977. — 2-е изд. — 440 с.
6. Александров Г.Н. Сверхвысокие напряжения. — М.: Энергия, 1973. — 184 с.
7. Александров Г.Н., Иванов В.Л. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 208 с.: ил.
8. Кайданов Ф.Г. Электростатическое поле двойных тороидальных экранов высоковольтных аппаратов//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1973. №6. — с.96-107.
9. IEC 60437. Radio interference test on high-voltage insulators [Text]. — 1998. — 36 p. doi:10.3403/01268403
10. Кожокару Д.И., Шмелев Г.М. Расчет экранов делителя напряжения постоянного тока на 1000 кВ//Электричество. — 1984. - №10. — с.67-69.
11. Costea, M. Radiofrequency disturbances radiated and injected in a power line by a high voltage equipment [Text] / M. Costea, I. Bran // Scientific Bulletin

of the Electrical Engineering Faculty of the Polytechnic University of Bucharest.
— 2010. — Vol. 12, № 1. — P. 77–83с.

12. IEC 60383-1. Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V. Part 1: Ceramic or glass insulator units for a. c. systems. Definitions, test methods and acceptance criteria [Text]. — 1996. — 111 p. doi:10.3403/00632514

13. Высокочастотные заградители [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://www.energy.siemens.com/rupool/ru/Power-Transmission/Downloads/Line_trap_ru.pdf

14. Rainey, J. M. Estimation and measurement of flat or solenoidal coil inductance for radiofrequency NMR coil design [Text] / J. K. Rainey, S. J. DeVries, B. D Sykes // Journal of Magnetic Resonance. — 2007. — Vol. 187, № 1. — P. 27–37. doi:10.1016/j.jmr.2007.03.016

15. Qiu, Y. Numerical calculation on multi-layers solenoidal coil [Text] / Y. Qiu, Q. Zhang, M. L. Zhang // Journal of IEEE Transactions on Magnetics. — 1993. — Vol. 29, № 2. — P. 1434–1437. doi:10.1109/20.250672

16. Pahlavani, M. R. A. Inductance comparison of the solenoidal coil of modular toroidal coils using the analytical and finite element method [Text] / M. R. A. Pahlavani, A. Shiri, H. A. Mohammadpour, A. Shoulaie // Journal of Progress In Electromagnetics Research B. — 2010. — Vol. 20. — P. 337–352. doi:10.2528/pierb10030907

17. Гримальський О.В., Иванов В.Л. Исследование возможности создания серии широкополюсных делителей напряжения из микропровода//Изв. Вузов. Энергетика. — 1984. - №10. — с.31-36.

18. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. — М.: Энергоиздат, 1982

19. Изоляция установок высокого напряжения/ Г.С.Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С Пинталь; Под общ.ред. Г.С. Кучинского. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 368 с.: ил.

20. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения / Е.С. Колечицкий. — Москва: Энергоатомиздат, 1983. — 168 с
21. Шваб А. Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения: Пер. с нем. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 264 с.: ил.
22. А. с. 1119182 СССР, МПК H04B3/54. Высокочастотный заградитель / А.П. Райва, Московское производственное объединение «Электрозавод» им. В.В. Куйбышева. — 3475932; заявл. 23.07.82; опубл. 15.10.84, Бюл. № 38. — 4 с
23. Бржезицкий В.А., Проценко А.Р., Резник С.Д. К распределению напряжения в слое диэлектрика//Вестн. Киев.политехн. ин-та. Электроэнерготехника. — 1986. Вып. 23. — с. 62-64.
24. Бржезицкий В.О. Розробка установки для випробування високовольтних ізоляторів на допустимий рівень радіозавад / В.О. Бржезицкий, Я.О. Гаран, М.Ю. Лапоша // Журнал «Технологічний аудит та резерви виробництва». — Харків, 2016. — № 1 (27). — С. 37—41
25. Иерусалимов М.Е. Профилирование изоляционного остова высоковольтных делителей напряжения / М.Е. Иерусалимов, В.А. Бржезицкий, А.Р. Проценко, В.В. Захарченко // Изоляция высоковольтных электрофизических установок. — Томск, 1988. — С. 97—103
26. Техника высоких напряжений / М.Е. Иерусалимов, М.Е. Орлов, Под общ.ред. М.Е. Иерусалимова. — Киев: Изд-во Киевск.университета, 1967. — 441 с.: ил.
27. Проценко А. Р. Выравнивание распределения напряженности электрического поля в высоковольтном делителе напряжения/ Киев. Политехн. Ин-т. — Киев, 1987. — 19 с.: ил. — Библиогр.: 9 назв. — Деп. в УкрНИИНТИ 31.03.87, № 1096
28. Дамбраускас А.П. Симплексный поиск. — М.: Энергия, 1979. — 176с.

29. Ермуратский П.В. Симплексный метод оптимизации//В кн.: Математическое описание и оптимизация многофакторных процессов. Труды МЭИ. Вып.67. – М.: Моск. энерг, ин-т, 1966. – с.29-68.
30. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 264 с.
31. Барабашук В.И. Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике. – Киев: Техника, 1984. – 200 с.: ил
32. Бржезицкий В.О. Розподілення індукованого потенціалу в соленоїдальній котушці / В.О. Бржезицкий, Я.О. Гаран, М.Ю. Лапоша // Журнал «Технологічний аудит та резерви виробництва». — Харків, 2015. — № 6/1 (26). — С. 50—54
33. Бржезицкий В.О. Регулювання електричного поля високовольтної котушки за допомогою профілювання діелектрика / В.О. Бржезицкий, М.Ю. Лапоша, І.М. Маслюченко, О.Р. Проценко // Наукові праці НУХТ 2016. Том 22, № 2
34. Malevski R., Maruvada P. Computer assisted design of impulse voltage dividers / IEEE Trans. Power and Appar and Syst., 1976, 95, N4 P.1267-1273. Discuss. P. 1273-1274.
35. Napoli A.Di., Mazzeretti C. Electrostatic and electromagnetic field computation for the H.V. resistive divider design / IEEE Trans. Power Appar. And Syst. – 1979, 98, N1. – p. 197-204; Discuss p. 204-206
36. Rymer T.B., Wright K.H.R. Potentiometer circuit for measurements of high potential / jornal of Sci. Instr., 1952, N29, May, p. 139-141.
37. А.с. 1325364 СССР, МКИ³ GOIR I5/04. Высоковольтный измерительный делитель напряжения / В.А. Бржезицкий, м.Е. Иерусалимов, А.Р. Проценко, В.Б. Вильнер, В.В. Захарченко, А.Н. Вакульчик (СССР). - № 3916515/24-21; Заявлено 26.05.85; Оpubл. 23.07.87; Бюл. № 27. – 2с.: ил.
38. Офіційний сайт COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.comsol.com/>.

Додаток 1

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Найменування	Кількість листів	Приміт ка
1	A4	Пояснювальна записка	73	
2	A4	Титульний лист	1	
3	A4	Схема вимірювання струму радіоавад в ізоляторах	1	
4	A4	Схема випробувальної установки для визначення радіоавад	1	
5	A4	Залежність розподілу індукованого ψ_1 і електричного ψ_2 потенціалів до проведення оптимізації каркасу котушки	1	
6	A4	Розрахункова модель котушки	1	
7	A4	Оптимізований профіль	1	
8	A4	Залежність розподілу індукованого ψ_1 і електричного ψ_2 потенціалів після проведення оптимізації	1	
9	A4	Відмінність оптимізованої та неоптимізованої поверхонь	1	